

Grundlagen und Methoden der Paläogeographic

Edgar Dacqué

ARTES VERITAS SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR

Science
QE
501
.D13

ARTES VERITAS SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR

Science
QE
501
.D13

Grundlagen und Methoden
der
Paläogeographie

Von

Dr. Edgar Dacqué
Privatdozent an der Universität München

Mit 79 Abbildungen im Text und 1 Karte

Jena
Verlag von Gustav Fischer
1915

Digitized by Google

Alle Rechte vorbehalten.

Copyright 1915 by Gustav Fischer, Publisher, Jena.

Vorwort.

Das Buch ist entstanden aus Vorlesungen, die ich im Wintersemester 1912/13 und 1913/14 über **Paläogeographie** hielt. Ihnen lag in einzelnen Teilen ein Manuskript zugrunde, mit dessen Niederschrift ich schon etwa 1906 begonnen hatte. Nach vielfach unterbrochener, bis in den Sommer 1914 fortgesetzter Überarbeitung erhielt es die vorliegende Gestalt.

Wenn auch der Tenor der Vorlesungen hier nicht festgehalten wurde, so ist doch das didaktische Moment tunlichst im Vordergrund geblieben. Eine spezielle Paläogeographie zu geben, lag nicht in meiner Absicht; auch die spezielle Tiergeographie wurde nur nebenbei in dem Kapitel über Paläoklimatologie gestreift. Lediglich die **Grundlagen und Arbeitsmethoden** der Paläogeographie sollten dargestellt werden. Dabei mußte eine Menge Fragen rein geophysikalischer und astronomischer Art berührt werden, in denen ich mir allerdings kein fachmännisches Urteil zutrauen kann; gleichwohl wagte ich mich in dem gegebenen Zusammenhang mit meinen Ansichten vor, weil es mir immerhin nützlich erschien, auf die Verknüpfung von Tatsachengruppen hinzuweisen, die, ganz verschiedenen Spezialgebieten der Forschung entstammend, sich in der Paläogeographie zu einer Einheit zusammenfinden.

Gerade dies darzustellen, ist wesentlich das Ziel des vorliegenden Versuches gewesen, der aber durchaus nur als programmatische Skizze veröffentlicht wird, in der Hoffnung, ihn unter dem Feuer der Kritik im Laufe der Jahre im einzelnen fortsetzen und besser fundieren zu können. Denn ich selbst bin keineswegs mit dieser Arbeit zufrieden. Sie war ein oft vergebliches Ringen mit dem schwierigen und ausgedehnten Stoffe, der sich einer Synthese nicht so fügte, wie es mir ursprünglich vorschwebte. Meine Kritiker bitte ich in diesem Sinne um Nachsicht. Umso dankbarer werde ich sachliche Ausstände, die zukünftiger Arbeit zugute kommen sollen, aufzunehmen wissen.

Die benützte Literatur ist durchweg genau zitiert. Wo ich aus zweiter Hand nahm, ist dies meistens angegeben, soweit es mir selbst im Augenblick der Niederschrift noch bekannt war. Man wird also ohne

280461

Schwierigkeit beurteilen können, aus welchen Quellen und Gedankenzusammenhängen ich schöpfte. Vielleicht bleibt dadurch dem Buche das Verdienst, eine nicht unwillkommene, wenn auch unvollständige Materialsammlung zu sein.

Ich habe mich bemüht, mit wenig Illustrationen auszukommen, weil ich finde, daß in neuerer Zeit im allgemeinen hierin mehr als nötig geschieht. Auch in den Vorlesungen lähmen allzuviele bildliche Demonstrationsmittel die tätige Vorstellungskraft und das selbständig konstruktive Mitdenken des Hörers, zumal bei nicht sehr diskreter Anwendung des Projektionsapparates. Außerdem habe ich mit Vorbedacht alle Erläuterungen unter den Textfiguren weggelassen. Wer Bücher nur unter flüchtigem Durchblättern nach den Figuren und den darunterstehenden Spezialerläuterungen kennen lernen will und beurteilt, für den sind sie nicht geschrieben; wer das Buch wirklich liest, dem werden die Figuren zu einem Hilfsmittel, dessen Bedeutung in jedem Einzelfalle aus dem Text unschwer hervorgeht.

Neben vielfacher Hilfe, deren ich mich von seiten meiner Fachgenossen zu erfreuen hatte und wofür ich hier im einzelnen nicht danken kann, möchte ich nur der Unterstützung gedenken, die mir Herr Dr. A. Kühl von der Münchener Sternwarte in astronomischen Fragen so oft gewährte. Herr Dr. F. Levy überließ mir eine Zusammenstellung der Eiszeitliteratur zugleich mit dem Entwurf der am Schluß beigehefteten, bisher unpublizierten großen Eiszeitkarte. Nicht zum mindesten aber gebührt mein Dank auch der Verlagsbuchhandlung, welche unter den schwierigen Verhältnissen des Herbstes 1914 die Drucklegung des Buches ermöglichte.

München, Anfang Oktober 1914.

Der Verfasser.

Digitized by Google

Inhaltsübersicht.

Digitized by Google

Digitized by Google

Einleitung.

Wenn man das Wagnis rechtfertigen soll, ein noch wenig behandeltes Thema, wie es die Paläogeographie ist, zum Gegenstand einer Vorlesung zu machen, so kann dies, abgesehen von dem allgemeinen Interesse, das wohl jeder Gebildete einem solchen Stoffe entgegenbringt, von verschiedenen Gesichtspunkten aus geschehen.

Es hat sich ein sehr umfangreiches empirisches Material in der Geophysik, Stratigraphie und Paläontologie angesammelt, das nach einer möglichst vielseitigen Durchdringung, nach Auswertung drängt. Ein Mittel hierzu ist die paläogeographische Betrachtungsweise.

Es sind in den letzten Jahren viele, in paläogeographischer Hinsicht wichtige Fragen entschiedener als früher und schärfer umrissen wieder in den Gesichtskreis der historischen Geologie getreten, aber mitunter, ohne nutzbar zu werden, in der Diskussion stecken geblieben; zum Teil wurden sie wie fernliegende Spekulationen behandelt. Ich denke dabei an die Vorstellungen von der Struktur des Erdinnern, an die Polwanderungen, die Verschiebung der Kontinente usw. — Probleme, die zu den wichtigsten Grundlagen einer rationellen Paläogeographie gehören. Gerade sie wollen ganz besonders behandelt und, was das Wichtigste ist, miteinander in sinngemäße Verbindung gesetzt werden.

Ich glaube ferner — und man wird mir wohl ohne weiteres hierin zustimmen —, daß es sowohl für den Lernenden, wie für den Lehrenden eine große wissenschaftliche Befriedigung und Anregung gewährt, den Aufbau und die Grundlagen einer Wissenschaft durchzudenken, gewissermaßen mitzuerleben. Denn der Zweck einer nicht unter dem leidigen Gesichtspunkt des Berufsexamens stehenden Vorlesung kann nicht in erster Linie darin erblickt werden, den Hörer mit trocken aneinander gereihten Tatsachen zu überhäufen und ihm gewissermaßen nur das Rohmaterial vorzulegen — hierfür gibt es die systematischen Lehrbücher und die Lehrsammlungen. In den Vorlesungen hat die wissenschaftliche Theorie zu ihrem Recht zu kommen, es sollen die allgemeinen Grundlagen und die innere Struktur einer Wissenschaft erläutert, es soll die Kompliziertheit der Methoden, die Verschlungenheit der Fragestellungen, die vielseitige Deutungsmöglichkeit aller Tatsachen und — was das Kennzeichen des echten Forschers ist — die prinzipielle Erkenntnis der niemals endenden Weite und Tiefe jedes Forschungsgebietes geweckt werden.

Damit ist der didaktische Zweck vorgezeichnet, den diese Vorlesungen verfolgen: sie sollen lehren, was für ein Komplex

Digitized by Google

logisch miteinander zusammenhängender resp. sich auseinander herausentwickelnder Gedankengänge und Spezialfragen die Paläogeographie einschließt, welche Probleme überhaupt zur Zeit in diesem Gebiet auftauchen können, ganz einerlei, wie und ob wir darauf zu antworten in der Lage sind. Es soll weiter versucht werden, anzugeben, auf welchem Wege wir im einzelnen Fall möglicher- oder wahrscheinlicherweise zu einer brauchbaren Lösung vordringen oder wenigstens zu einer das Weiterforschen erlaubenden Formulierung gelangen können. Es sind schließlich die Tatsachen selbst vorzuführen, welche uns zu den besprochenen Fragestellungen berechtigen.

Das persönliche Bekenntnis des Lehrers zu dieser oder jener Hypothese wird hierbei nicht fehlen dürfen, wenn der Hörer sich ebenso persönlich von dem Stoff gepackt fühlen soll. Gelegentlich werden darum Hypothesen und Gedankengänge mitgeteilt werden, für die eine empirische Behandlungsmöglichkeit vielleicht noch gar nicht gegeben erscheint, die jedoch aus irgendwelchen anderweitigen zwingenden Gründen als Postulate in den Bereich der Betrachtung gelangen. So wird beispielsweise die Pickeringsche Mondabtrennungslehre besprochen, weil sie einen Gesichtspunkt in die Diskussion paläogeographischer Fragen geworfen hat, welcher, wenn auch derzeit nur sehr bedingt verwertbar, dennoch lehrt, mit welchen Möglichkeiten wir bei der Erklärung gewisser Grundzüge im Bau und in der Entwicklungsgeschichte der Erde zu rechnen haben und auf eine wie breite, vielseitig ausgebaute Basis wir die Beurteilung vorweltlicher geographischer Zustände gründen müssen.

Vielfach handelt es sich also nur um eine Diskutierung von Möglichkeiten und man soll ja nicht glauben, daß es das Kennzeichen besonderer Wissenschaftlichkeit sei, sofort zu jeder neuen Hypothese eine ablehnende oder zustimmende Stellung einzunehmen; das kann recht banausisch sein. Man kann sehr wohl einer Theorie, einer Hypothese Interesse entgegenbringen, Gründe für und Gründe gegen sie geltend machen und es im übrigen vorerst noch dem Fortgang der Untersuchungen, der Zeit überlassen, sie schließlich nach vielen Modifikationen anzunehmen oder abzulehnen, oder ihr als Teilerklärung für einen mehr oder minder großen Tatsachenkomplex im System der Wissenschaft den geeigneten Platz anzuweisen. Der unvoreingenommene Forscher ist nicht der, welcher mit einem anscheinend unüberwindlichen Rüstzeug „gesicherter" Tatsachen neuen Gedanken gegenüber sofort „endgültig" für oder wider Stellung nimmt, sondern der, welcher an ihnen das Wertvolle herauszufinden trachtet, auch wenn sie zunächst ungültig erscheinen mögen deshalb, weil sie vielleicht mit zu weitgehenden Ansprüchen auftreten und nicht alles erklären, was sie erklären sollten. Jede ehrliche Geistesarbeit, d. h. jeder Versuch, aus Tatsachen nach den Gesetzen der Logik allgemeinere Gesichtspunkte abzuleiten, oder Tatsachen unter solche allgemeineren Gesichtspunkte zusammenzufassen, führt zur Gewinnung irgendeiner richtigen Teilerkenntnis, mag sie auch anfänglich in einer unrichtigen Beleuchtung erscheinen, noch so sehr mit sonstigen falschen Vorstellungen verwoben sein.

In dieser Lage befindet sich, um wieder auf das Folgende zu exemplifizieren, etwa die Tetraëderhypothese, welche lehrt, daß gewisse Züge im Antlitz der Erde erklärbar seien durch die Annahme einer nach bestimmten physikalischen Gesetzen vor sich gegangenen tetra-

ëdrischen Deformation der Erdkugel. Nichts ist leichter, als eine Unmenge von Erscheinungen aufzuzählen, welche sich dieser Idee nicht fügen. Und doch ist sie deshalb nicht unbedingt hinfällig. Vielmehr gilt es, da nun einmal mehrere Tatsachen für sie zu sprechen scheinen, ihr nachzugehen und den von ihr angedeuteten erdgestaltenden Faktor an der richtigen Stelle als Teilerklärung in das Gebäude unserer Wissenschaft einzufügen. Freilich, wo eine sicherlich nur in beschränktem Maße berechtigte Idee mit dem Anspruch auftritt, mehr als ihr der Natur der Sache nach zukommt, zu erklären, wie das ja gerade mit der Tetraëdertheorie und verwandten Gedankengängen gelegentlich zweifellos der Fall war, wird man sie zurückweisen müssen.

Schließlich werden wir uns auch vor der Illusion der sogenannten gesicherten Ergebnisse hüten müssen. Ergebnisse sind nur insoweit gesichert, als der Standpunkt, von dem aus sie gewonnen wurden, anerkannte Gültigkeit hat. Aber kein Standpunkt, von dem aus man seine Forschung beginnt und durchzuführen sucht, ist etwas Einheitliches, fest Gegebenes, sondern ein Konvergenzpunkt ungleichwertiger Lichtstrahlen. Somit ist auch jede neu erworbene wissenschaftliche Tatsache nur etwas Relatives. Wir haben es lange Zeit etwa für feststehend gehalten, daß Kettengebirge aus tangentialen Spannungen der Kruste erzeugt werden, aus der Kontraktion des sich abkühlenden Erdinnern, hervorgehen. Und es gibt viele Forscher, welche diese Meinung heute noch mindestens als eine gesicherte Theorie vertreten, obwohl wir weder die Abkühlungsverhältnisse des Erdinnern, noch die dabei wirksam werdenden Kräfte kennen, noch wissen, ob die Erde nicht an innerer Hitze wächst, statt abnimmt, sich möglicherweise ausdehnt, statt zu schrumpfen und obwohl es plausible andere Gebirgsbildungstheorien gibt, welche diesen Schwierigkeiten aus dem Wege gehen. Man wird — die Beispiele lassen sich leicht vermehren — daher gut tun, über neue Ideen nicht gleich den Stab zu brechen, wenn sie unseren hergebrachten und oft nur angeblich gesicherten Anschauungen zuwider sind und sich nicht sofort in das bisherige System des Wissens fügen. Man wird sich bemühen, mit eklektischer Unvoreingenommenheit das Wertvolle, das einen gewissen Fortschritt Sichernde auch unter einem Wust von Irrtümern herauszufinden, ohne sich dogmatisch nach einer Richtung zu binden.

Gerade inbezug auf erdgeschichtliche Vorgänge, die niemals eindeutig bestimmbar sind, weil sie niemals nur von einer einzigen Bedingung abhängen, kann man gar nicht bewußt genug den Leitgedanken festhalten, daß es in der Ausgestaltung der Oberflächenformen und in dem Verlauf sonstiger geologischer Erscheinungen Gesetzmäßigkeiten geben kann, die nie und nirgends rein zum Ausdruck gelangen und dennoch an sich Gültigkeit haben. So wäre es sehr wohl denkbar — ein konstruiertes Beispiel —, daß etwa eine streng rhythmische Ursache für Eiszeiterscheinungen vorhanden ist, aber infolge paralysierender Beeinflussung durch andere akzidentelle Faktoren nur ganz unperiodisch wirksam werden kann. Gleichwohl würde dieser Rhythmus, indirekt ermittelt, an und für sich bestehen trotz der Nichtübereinstimmung mit dem äußeren Schein der Tatsachen. Mit dem naiven Realismus des einfachen, ich möchte sagen: plumpen Tatsachenregistrierens kommt man nicht hinter den wirklichen Zusammenhang der Dinge; die wissenschaftliche Theorie, die Deduktion, muß damit Hand in Hand gehen. Denn unfertig ist

auch das „gesicherte“ Wissen stets und bedarf neuer heuristischer Gedanken.

Will man darum, wie wir es versuchen werden, den wesentlichen Inhalt einer Spezialwissenschaft, zudem einer noch wenig oder jedenfalls nicht in systematischem Zusammenhang betriebenen und dargestellten Spezialwissenschaft behandeln, so kann man natürlich nicht mit einem in allen Teilen abgeschlossenen, in allen seinen Konsequenzen innerlich gefestigten Lehrgebäude vor seine Zuhörer treten. Man wird sich zunächst darauf beschränken müssen, ein Gerüst zu dem späteren endgültigen Bau herzustellen, die Grundfragen zu erörtern, die Methoden herauszuarbeiten, nach denen letzten Endes das Gebäude aufgeführt werden kann. Das ursprünglich vielfach nach anderen Gesichtspunkten zusammengebrachte Material muß zur Errichtung des Baues erst brauchbar gemacht, somit — um von dem Vergleich auf unseren konkreten Fall zu kommen — paläogeographisch orientiert, durchgedacht werden.

Aus diesen Gründen lautet mein Thema nicht schlechthin „Paläogeographie“, sondern „Grundlagen und Methoden der Paläogeographie“.

Digitized by Google

I. Wesen und Inhalt der Paläogeographie.

a) Die Aufgaben der Paläogeographie.

Wie es etwa im Wesen der *Paläontologie* liegt, nicht nur exakt zu beschreiben, sondern deshalb exakt zu beschreiben, weil auf dem fossilen Material eine *Biologie der Vorwelt* aufgebaut werden soll und weil man nur so den durch die Erdzeitalter wirksamen Gesetzen der Lebensentwicklung auf die Spur zu kommen hoffen darf, so muß es auch das Ziel der Stratigraphie und Geologie sein, die geophysikalischen, stratigraphischen, petrographischen, tektonischen und paläontologischen Daten zu vereinigen zu dem Gesamtbild einer *Geographie der Vorwelt*, einer *Paläogeographie*.

Was die Geographie als Darstellung des jetzigen Erdzustandes ist, will die *Paläogeographie* als Darstellung vorweltlicher Erdzustände sein. Demgemäß befaßt sie sich mit den *topographischen, orographischen, vulkanischen, hydrographischen, ozeanographischen, meteorologisch-klimatischen, erdmagnetischen* usw. Zuständen der vorweltlichen Erdoberfläche und stellt sich, nicht zuletzt, auch die Erforschung der *tiergeographischen* und sonstigen *biologischen* Verhältnisse früherer Erdperioden als Aufgabe.

Jedoch nicht nur auf die bloße Schilderung und Beschreibung von *Zuständen* hat sich die Arbeit des Paläogeographen zu erstrecken, sondern auch auf die *Veränderungen* der Zustände und den Mechanismus ihrer Überführung in neue; überhaupt auf eine Herausarbeitung der kausalen Beziehungen und Zusammenhänge in den geographischen Erscheinungen der Vorwelt, auf Klarlegung der Gesetzmäßigkeiten, deren begriffliche Analyse und Synthese erst das ausmacht, was wir ein „*Lehrgebäude der Paläogeographie*" nennen können.

Während aber, wie Davis einmal sagt, die Geographie den gegenwärtigen Erdzustand aus dem Vergangenen zu verstehen sucht, ist der Weg, den die Paläogeographie zu gehen hat, umgekehrt: sie muß die vergangenen Zustände der Erde aus dem gegenwärtigen, deren Ursachen und Veränderungen aus den gegenwärtig geltenden Gesetzen der Physik und Chemie zu ergründen suchen — es müßte denn sein, daß der Nachweis andersartiger Wirksamkeit physikalischer und chemischer Gesetze zu irgendeiner Epoche der Vorwelt erbracht würde, wofür bisher kein Anhaltspunkt gegeben ist.

Digitized by Google

Gewöhnlich wird der Begriff „Paläogeographie“ noch viel zu eng gefaßt, indem man ihr nur die Rekonstruktion vorweltlicher Land- und Meeresgrenzen als Aufgabe zuweist. Gewiß ist die Grundlage für die Diskutierung und Lösung aller paläogeographischen Fragen eine möglichst genaue Kenntnis der ehemaligen Verteilung von Wasser und Land und ihres jeweiligen Wechsels. Ob wir uns ein Urteil etwa über die Menge des Wassers auf der Oberfläche unseres Planeten in früheren Erdperioden bilden und die Frage lösen wollen, ob sich das Wasser vermehrt oder vermindert habe; ob wir über die Beeinflussung und Verteilung der vorweltlichen Tier- und Pflanzenwelt durch Klimate oder Meeresströmungen etwas erfahren wollen; ob wir Kenntnis bekommen wollen von periodischen oder nichtperiodischen Bewegungen der Erdkruste oder von Polverschiebungen — immer bildet hierzu die unentbehrliche Grundlage das genaue Studium der jeweiligen Verteilung des festen und flüssigen Elementes. So, aber auch nur so, mögen jene Recht haben, welche der Paläogeographie die möglichst naturgetreue Rekonstruktion ehemaliger Land- und Meeresgrenzen in erster Linie als Aufgabe zuweisen wollen. „The first need is to establish palaeogeography, a result which has as yet not been attained“ sagt in diesem Sinn der vorzügliche amerikanische Paläogeograph Schuchert.

Wenn wir nach alledem nun näher definieren und spezialisieren, was paläogeographische Forschung will und soll, so ist folgendes ihre Aufgabe:

1. Die Darstellung des jeweiligen Umfanges und der Verteilung von Ländern und Meeren, sowie deren speziellere Konfiguration in horizontaler und vertikaler Richtung. Darunter sind etwa folgende Einzelheiten zu verstehen: a) Land: Umrisse, Küstencharakter, Dünenbildung, Vulkanismus, Gebirgserhebungen, Ebenen, Steppen, Wüsten, Waldbedeckung, Flußläufe, Seen, Gletscher bzw. Inlandeisbedeckung, Gesteinsarten und Bodenbildung; b) Meer: Tiefenverhältnisse, Brandungsart, Strömungen, Riffbildung, Klippen, submarine Vulkane, Salzgehalt des Meeres. „Paläorographie“, „Paläohydrographie“, „Paläozeanographie“ usw. wären die Bezeichnungen für diese speziellen Forschungsgebiete.

2. Die allgemeinen oder speziellen klimatischen und meteorologischen Verhältnisse der Erdoberfläche oder einzelner Teile derselben während der verschiedenen Zeitalter. Hierher gehören die Fragen nach Anordnung und Charakter der Klimazonen, den Wassertemperaturen und zum Teil den Meeresströmungen, den Windströmungen, dem Jahreszeitenwechsel, den Niederschlägen und damit zum Teil auch den Wüstenbildungen. Man nennt diesen Teil der Paläogeographie „Paläoklimatologie“.

3. Die biologischen Verhältnisse und die Verbreitung der Organismen, welche ihrerseits wieder Rückschlüsse auf die unter 1 und 2 aufgezählten Gegenstände erlauben. Man nennt dieses Forschungsgebiet „Paläobiogeographie“.

4. Die allenfalls veränderten astronomischen Verhältnisse früherer Erdzeitalter und ihre Rückwirkung auf die Verteilung von Wasser und Land, Klima und damit indirekt auf die Organismen. Hierher würden gehören Änderungen der Sonnenbestrahlung, der Lage der Erdachse, der Stellung des Mondes zur Erde, Änderungen der Rotationsgeschwindigkeit usw. (Paläastronomie).

Digitized by Google

Alles das geht natürlich ineinander über und nur zu Dispositionszwecken lassen sich die Gesichtspunkte allenfalls so trennen, wie wir es soeben getan haben.

Aus der Untersuchung, Beschreibung und Vergleichung aller jener Verhältnisse ergeben sich dann spezifisch paläogeographische Problemstellungen bzw. deren Lösung, wie etwa die Frage nach der Permanenz oder Nichtpermanenz der Festlandsockel und ozeanischen Becken, nach den Polwanderungen, nach der Zu- und Abnahme der Wasserquantität oder der Landmassen, nach den Ursachen der Eiszeiten, nach der Periodizität oder Nichtperiodizität bestimmter geologischer Erscheinungen, nach den geologischen Zyklen, nach der Polflüchtigkeit der Korallen seit dem Paläozoikum usw., also eine ganze Menge der interessantesten, wichtigsten und schwierigsten Fragestellungen.

Damit dürfte im wesentlichen der sachliche Umfang, d. h. die Aufgabe der Paläogeographie gekennzeichnet sein. „Paläogeographie im weitesten Sinn des Wortes ist der Inbegriff alles dessen, was man als Naturgeschichte der Vorzeit bezeichnen könnte, soweit sie sich auf die Vorgänge an der Erdoberfläche bezieht. Fast jeder Geologe und jeder Paläontologe trägt daher durch seine Arbeit, wenn auch manchmal unbewußt, Bausteine herbei, welche das Gebäude dieser so umfangreichen Wissenschaft vergrößern und verstärken“[1]).

b) Begrenzung der Paläogeographie in Hinsicht auf die Zeit.

Nach rückwärts, in die Urzeit der Erdgeschichte hinein, findet die Paläogeographie ihre Grenze an dem Zeitalter der Glutflüssigkeit der Planetenoberfläche; hier tritt sie ihr Forschungsgebiet an die Astrophysik ab[2]). Die Aufgabe der Paläogeographie beginnt daher erst dort, wo sich um den glühenden Erdball die uns in ihren Eigenschaften bis jetzt nicht bekannte erste feste Kruste legte, stark genug, um neuen größeren Überflutungen durch das glühende Magma endgültig Widerstand zu leisten. Mag auch bei diesem frühesten Starrzustand der Erdoberfläche die Hitze des Bodens und einer etwaigen dicken Atmosphäre so groß gewesen sein, daß es klimatische Unterschiede nicht geben konnte, daß sich alles Wasser in Dampfform in der dichten Atmosphäre hielt und Meere deshalb nicht vorhanden waren, so fällt jene Zeit theoretisch doch schon in das Bereich paläogeographischer Forschung, insofern nämlich eine Konfiguration des Bodens damals gewiß vorhanden war und wenn es auch nur die einer Schlackenoberfläche im großen gewesen sein sollte.

Allerdings, erst als sich durch fortschreitende Abkühlung und daraufhin folgende intensive Niederschläge die Urmeere bildeten, treten wir in die Reihenfolge jener großen Erdperioden ein, deren Beginn wir ganz allgemein damit bezeichnen können, daß der normale, wenn auch zunächst vielleicht intensiver wirkende Kreislauf des Wassers und der Stoffe im Zusammenhang mit Hebung und Senkung der Erdkruste einsetzte und daß die Erdkruste dick genug war, um einerseits

1) Andrée, K., Die paläogeographische Bedeutung sedimentpetrographischer Studien. Peterm. Geogr. Mitteil., Jahrg. 59, Gotha 1913, S. 117.

2) Arldt, Th., Methoden und Bedeutung der Paläogeographie. Peterm. Geogr. Mitteil., Bd. 56, Gotha 1910, S. 229.

eine Einwirkung der inneren Erdwärme auf die Gestaltung des Klimas, andrerseits einen schrankenlosen Vulkanismus hintanzuhalten — mit einem Wort: daß geophysische Zustände und Kräfte eingetreten waren, für die wir ein höchstens graduell, nicht mehr wesentlich verschiedenes Analogon in denen der Jetztzeit haben. So wird es WILLIS wohl auch meinen, wenn er theoretisch die Paläogeographie auf jene Perioden beschränkt[1]), in denen Erdoberfläche, Luft und Wasser sich im „gleichen" Zustand wie jetzt befanden.

Indessen ist diese unterste Grenzziehung reine Theorie. Praktisch beginnt, wie ANDRÉE sehr richtig auseinandersetzt[2]), der sichere Boden für die paläogeographische Forschung erst dort, wo sich durch Fossilführungen genaue stratigraphische Altersparallelisierungen durchführen lassen, also mit der Zeit des unteren Kambrium. Zwar hat man im Algonkium Fossilspuren gefunden, doch reichen sie in keiner Weise auch nur für die geringste relative zeitliche Einreihung der sie bergenden Schichten aus, weshalb das, was wir von der Paläogeographie des algonkischen Zeitalters wissen, nur den Wert lokaler Einzelerscheinungen hat, die sich noch nicht in zeitliche Beziehung zueinander setzen lassen.

Sowohl theoretisch, wie praktisch ist es aber auch schwer zu entscheiden, wo die obere Grenze für die paläogeographische Forschung liegt. Gehört das Altquartär noch in ihr Bereich?

Es ist klar: eine scharfe Grenze zwischen geologischer Vorzeit und Jetztzeit existiert ebensowenig wie zwischen sonstigen erdgeschichtlichen Zeitaltern, mithin sind Paläogeographie und Geographie nach dem Gesichtspunkt Zeit nicht scharf zu trennen; auch ist die Grenze in der wissenschaftlichen Praxis tatsächlich verwischt, wie sich besonders deutlich bei der Bearbeitung des Diluviums, der Eiszeitphänomene, zeigt, die von Geographen und Geologen gleicherweise behandelt werden, und neuerdings beginnt sogar die doch anscheinend rein geologisch-paläogeographische Frage der Alpenentstehung diesem Schicksal entgegenzureifen[3]).

Weitere Beispiele für das Ineinandergreifen beider Disziplinen bietet etwa die Erforschung der voralluvialen Ausdehnung der nordamerikanischen Seen oder die ehemalige Lage der Elbe-Ebene in Böhmen zur Diluvialzeit, oder der präglazialen Alpenoberfläche der alten Flußläufe Norddeutschlands, oder des alten Donaulaufes durch das Wellheimer Trockental, bei denen der untersuchende Geograph rein geologischer Forschungsmethoden nicht entbehren kann. Und wenn er die Stratigraphie, Petrographie und Tektonik des umliegenden Gebirges nicht beherrscht, so führt ihn sein rein geographisch-morphologisches Verfahren eben zu falschen Resultaten. Eine geographische Arbeit, zu der geologische Kenntnisse nicht erforderlich sind, ist es, wenn aus den Bauten oder Aufzeichnungen des Altertums etwa die ehemalige beschränktere Ausdehnung der italienischen Küste bei Ravenna oder die höhere Lage der ägyptischen Küste rekonstruiert oder aus den Muschelbohrlöchern am Serapistempel in Pozzuoli auf ein Schwanken

1) WILLIS, B., Principles of Paleogeography. Science (N. Ser.), Vol. XXXI, New York 1910, S. 241.

2) ANDRÉE, K., a. a. O. S. 118.

3) STAFF, H. v., Die Alpengeologie auf dem XVIII. deutschen Geographentage in Innsbruck Pfingsten 1912. Zeitschr. d. deutschen geologischen Ges., Bd. 64. Monatsber., Berlin 1912, S. 318.

Digitized by Google

des Strandes bzw. des Meeresspiegels geschlossen wird. Hier handelt es sich schließlich im Prinzip um nichts anderes als wie um eine geographische Verwertung von Urkunden; ob das nun menschliche Bauten oder Schriftstücke sind, ist einerlei. Wenn wir aber aus dem Vorhandensein von Küstenterrassen und aus dem stratigraphischen Vorkommen von Tonen mit der arktischen Yoldiafauna auf eine seit der Diluvialzeit veränderte Lage der skandinavischen Küste schließen und die damalige Verteilung des Meeres darzustellen suchen, so arbeiten wir streng genommen schon rein paläogeographisch.

Die Antwort also, wo wir in solchen Grenzfällen das Gebiet der einen Disziplin endigen und das der anderen beginnen lassen, ist nur gelegentlich zu geben und darum relativ willkürlich. Es bleibt schließlich noch übrig, eine

c) methodologische Begrenzung des Begriffes Paläogeographie

zu versuchen. Man kann die ehemalige Ausdehnung der Insel Helgoland auf zweierlei Art feststellen: einmal auf Grund positiver historischer Berichte, das andere Mal durch geologische Forschungsmethoden, wie etwa durch Untersuchung der von der Erosion geschaffenen submarinen Felsterrasse. Im ersteren Fall hat man zweifellos eine historisch-geographische, im letzteren eine geomorphologisch-geographische Arbeit geleistet. Wenn etwa v. Staff[1]), um nur ein beliebig herausgegriffenes Beispiel zu nennen, aus der Morphologie der alpinen Höhen in der Westschweiz und deren Niveaulage zu dem Schlusse kommt, daß die auffallende Gipfelhöhenkonstanz nur erklärbar sei als Rest eines früheren morphologischen Zustandes, in dem das Gesamtgebiet bis zum damaligen Denudationsniveau abgetragen und eingeebnet war, dann muß dies als eine geographische Arbeitsmethode gelten, weil er aus den gegenwärtig zutage liegenden, die alluviale Erdoberfläche bildenden Formen diesen Schluß zieht, wenn auch letzterer sich auf einen in der geologischen Vergangenheit liegenden und daher eigentlich paläogeographischen Zustand erstreckt. Wenn jedoch Strigel[2]) aus der Verfolgung stratigraphischer und tektonischer Verhältnisse im Aufbau des Odenwaldes eine permische Abtragungsfläche zu rekonstruieren sucht, dann arbeitet er, wenn man so will, rein geologisch-paläogeographisch.

Man sieht also, daß die Unterscheidung von Geographie und Paläogeographie nach den Methoden und in gewissem Sinn auch nach dem Anschauungsmaterial leichter durchzuführen ist, als nach der Zeit allein, und wir können daher zusammenfassend sagen: Wo aus den unmittelbar zutage liegenden Oberflächenformen der Erde eine geographische Darstellung von Verhältnissen der Jetztwelt oder der unmittelbaren geologischen Vergangenheit gegeben wird, oder wo aus — ebenfalls der direkten Oberflächenanschauung entsprungenen — historischen Berichten geschöpft wird, da sind wir mitten im Arbeitsgebiet der Geographie. Wo wir aber rein aus tektonischen

1) Staff, H. v., Zur Morphogenie der Präglaziallandschaft in den Westschweizer Alpen. Zeitschr. deutsch. geol. Ges., Bd. LXIV, Berlin 1912, S. 1—80.

2) Strigel, A., Geologische Untersuchung der permischen Abtragungsfläche im Odenwald und in den übrigen deutschen Mittelgebirgen. Verh. Naturh.-Med.-Vereins Heidelberg 1912, N. F., Bd. XII, S. 63—172.

stratigraphischen, petrographischen, paläontologischen Daten ein Bild ehemaliger geographischer Oberflächenverhältnisse ableiten, da sind wir mitten im Arbeitsgebiet der Paläogeographie.

Es kann nicht als ein ausreichender Einwand gegen diese Definition gelten, wenn in der wissenschaftlichen Praxis zuweilen diese Grenze insofern verwischt ist, als der Geograph wohl auch hin und wieder bei seinen Oberflächenstudien von den tektonischen oder petrographischen Verhältnissen seiner Gegend Kenntnis nehmen muß, oder wenn beide Forschungsarten, die geographische und die paläogeographische, vielfach von einer Person ausgeübt werden, wie das ja bei der Eiszeitforschung der Fall ist.

Die Paläogeographie gewinnt somit ihre Erkenntnisse durch fortgesetzte Vergleichung petrographischer, stratigraphischer und paläontologischer Befunde mit ebensolchen rezenten. Der Analogieschluß tritt bei der paläogeographischen Forschung in den Vordergrund und insofern entbehrt jedes ihrer Resultate zwar nicht der logischen, wohl aber der augenscheinlichen Gewißheit. Dieses Los teilt sie indessen mit allen Wissenschaften, die sich über das Niveau der reinen Beschreibung erheben und sich auf historische, nichtaktuelle Gegenstände und Vorgänge erstrecken.

Indem die Paläogeographie eine Vereinigung tektonischer, petrographischer, stratigraphischer, paläontologischer, biologischer, tiergeographischer, meteorologischer, hydrologischer, physikalisch-chemischer und astronomischer Gedankengänge bedeutet und die heutigen erdgeschichtlichen Zustände und Vorgänge vergleichsweise auf die vorweltlichen anwendet, begreift sie wesentliche Teile mehrerer anderer Disziplinen unter eigenen Gesichtspunkten in sich, vereinigt jene zu einem einheitlichen Lehrgebäude, gelangt also durch deren Synthese zur Erkenntnis von Zusammenhängen und Gesetzmäßigkeiten, welche keine der genannten Disziplinen für sich allein gewinnen könnte. So wird die Paläogeographie zu einer eigenen Wissenschaft, veranlaßt als solche neue und selbständige Problemstellungen und hat dadurch zugleich eine befruchtende, wegeweisende Rückwirkung auf ihre im übrigen selbständigen Hilfsdisziplinen.

II. Historisches. Literatur[1]).

Der Ausdruck „Paläogeographie" (franz. paléogéographie; engl. paleogeography) soll nach Canu[2]) zuerst von Lapparent angewendet worden sein. Schuchert dagegen gibt an, daß ihn zum erstenmal Etheridge 1881 in seiner „Presidential address" an die Londoner Geologische Gesellschaft prägte[3]). Das ist insofern richtig, als dort das Wort zum erstenmal als zusammenhängendes Substantiv vorkommt; Etheridge spricht nämlich von der „old physical geology and geography (paleogeography) of Britain ..." Doch meint Schuchert[4]), daß der Begriff so notwendig aus dem Ausdruck Geographie der Vorwelt, der alten Zeiten hervorgeht, daß er wohl schon früher angewendet worden sein dürfte. Das hat insofern etwas für sich, als Etheridge an der bezeichneten Stelle sich auch in einer Weise ausdrückt, die darauf schließen läßt, daß er ein ihm schon bekanntes, also eventuell vom Hörensagen überkommenes Wort gebraucht. Tatsächlich kommt es auch schon nachweislich 6 Jahre früher (1875) bei A. Boué[5]) vor, der „paläogeologische Geographie" oder „geologische Paläo-Geographie" schreibt. Schuchert spricht beiläufig auch von „ancient geography" oder „geologic geography".

Wer zuerst den Ausdruck „Paläoklimatologie" angewendet hat, ist mir unbekannt. Die Bezeichnung „Paläobiogeographie" für den Begriff „Tiergeographie der Vorwelt" entnehme ich neueren Arbeiten (s. unten) von Arldt; ob er den Ausdruck zuerst geprägt hat, weiß ich nicht. Bei ihm finde ich auch zum erstenmal die Bezeichnungen „Paläohydrographie", „Paläorographie"[6]).

1) Dieses Kapitel ist ein teilweise umgeänderter und ergänzter Abdruck meines Aufsatzes in der Geol. Rundschau, Bd. IV, Leipzig 1913, S. 185—206. („Paläogeographische Karten und die gegen sie zu erhebenden Einwände".) Weitere, hier nicht mehr aufgenommene Ergänzungen findet man in einem unter ausgiebiger Benutzung der vorgenannten Abhandlung jüngst von Th. Arldt herausgegebenen Aufsatze in Hettners Geogr. Zeitschr., Jahrg. 20, Leipzig 1914, S. 197—208. („Zur Geschichte der paläogeographischen Rekonstruktion".)

2) Canu, F., Essai de Paléogéographie. Réstauration des contours des Mers anciennes en France et dans les pays voisins. (Text und Atlas.) Paris 1895.

3) Etheridge, R., Anniversary Address of the President. Quart. Journ. geol. Soc. London 1881, Vol. XXXVII, S. 228.

4) Schuchert, Ch., Paleogeography of North America. Bull. geol. Soc. America, Vol. XX, S. 431. Chicago 1910.

5) Boué, A., Einiges zur paläogeographischen Geographie. Sitz.-Ber. math.-nat. Kl. K. K. Akad. d. Wiss., Bd. LXXI, 1. Abt., Wien 1875, S. 305—425.

6) Arldt, Th., Artikel „Formationen" im „Handwörterbuch der Naturwissenschaften", Bd. IV, Jena 1913, S. 152ff.

Wichtiger als diese rein philologischen Fragen ist die, wer die erste paläogeographische Karte entworfen hat. Canu gibt auf S. 7 seiner unten zitierten Abhandlung an, es sei Hébert gewesen, der 1857 eine graphische Rekonstruktion des Lutétien und Stampien versucht habe. Aber weder diese, noch seine angeblich 1869 im Bull. de la Soc. géol. de France publizierte „Restauration du Rhodanien et de l'Aptien" konnte ich auffinden; zudem hat nach Angaben Boués Crivelli[1]) schon 1853 Italien zu verschiedenen geologischen Zeiten dargestellt, und außerdem lieferte Gressly[2]) um 1840 eine paläogeographische und Fazieskarte des Solothurner Jura, Trimmer[3]) 1854 vier „Bilder über den Stand der britischen Inseln zu verschiedenen Zeiten", während von E. de Beaumont eine Karte von Europa[4]) zur Mitteleozänzeit aus dem Jahre 1836 existiert und schon 1834 Gemmellaro der französischen geologischen Gesellschaft zu Straßburg sechs Karten Siziliens vorlegte, welche, aufeinander gelegt, das Festland dieser Insel in sechs verschiedenen Zeiten darstellten. In der zitierten Bouéschen Arbeit findet man noch einige Angaben über ältere paläogeographische Skizzen, die wir hier nicht alle aufzählen wollen. Nur Ward[5]), der 1871 Italien am Ende der Eozänzeit „figurierte", und S. Wood[6]), der 1863 „eine Karte der ehemaligen Verbindung Englands mit Frankreich zur „Wealden- und Purbeckzeit" gab, seien von ältesten Autoren hier noch erwähnt. Hébert hat, abgesehen von den vorhin genannten, für mich zweifelhaft gebliebenen Skizzen indessen noch einige andere etwas jüngeren Datums veröffentlicht[7]), auf denen besonders die Ausdehnung und die Schwankungen des französischen Kreidemeeres veranschaulicht werden. Lias- und Eozänmeer in Nordfrankreich finden sich in einer kleinen, 1884 erschienenen Schrift von ihm dargestellt.

Ferner hatte schon 1856 der Engländer Goodwin-Austen[8]) eine Karte des Wechsels der englischen, französischen und deutschen Landkomplexe vom Paläozoikum bis zum Jungtertiär veröffentlicht, und 10 Jahre später[8]) folgte von ihm eine genauere Darstellung des nord-

---

1) Crivelli, B., Skizzi geologici dell' Italia. (Teste A. Boué, l. c.) Milano 1853.

2) Gressly, A., Observations géologiques sur le Jura Soleurois. Nouv. Mém. Soc. helvét. Sciences nat. 1838—1840, 1841, Tome II, IV et V. (Extrait), Taf. VI.

3) Trimmer, J., On the origin of the soils which cover the chalk of Keht. Pt. 3. Quart. Journ. geol. Soc. London 1853, Vol. IX, S. 286, Taf. XIII. Reproduziert in einem Referat in: Bibliothèque universelle de Genève 1854, Tome XXV, 2. Teil, S. 193, Taf. 1.

4) Beaumont, E. de, in den Mém. p. serv. descript. géol. France, Bd. III. Paris 1836.

5) Ward, Cl., The development of land. Geological Magazine, London 1871, Vol. XIII, S. 11.

6) Wood, S. V., On the events which produced and terminated the Purbeck and Wealden deposits etc. Philos. Maganz. and Journ. of Science 1863, Vol. XXV, S. 268—289, Taf. V.

7) Hébert, M., Le terrain crétacé des Pyrénées. Bull. Soc. géol. France 1867, Vol. XXIV, 2. Sér., S. 323—380, Taf. V.

— Ondulations de la craie du nord de la France. Ibid. 1875, Vol. III, 3. Sér., S. 512—546, Taf. XVI.

— Unter dem gleichen Titel in den „Annales d. Sciences géol.", Tome VII, S. 23, Fig. 3, auch eine Skizze des französisch-englischen Portlandmeeres. Paris 1876.

— Nations générales de géologie, Paris 1884, S. 50 u. 64.

8) Goodwin-Austen, R., On the possible extension of the coal measures beneath the southeastern part of England. Quart. Journ. geol. Soc. London 1856, Vol. XII, S. 38, 73. (Mit Karte zwischen S. 166 n. 167.)

— On the kainozoic formations of Belgium. Ibid. 1866, Vol. XXII, S. 228ff. (Karte S. 240.)

europäischen Cragmeeres (Fig. 1). Seine Karten und Erläuterungen gewinnen dadurch einen besonderen Wert, daß er eine genauere Begründung für seine Darstellungen zu geben sucht und nicht schlechthin nach dem stratigraphischen Material seine Land- und Meeresgrenzen konstruiert.

Während jedoch GOODWIN-AUSTENS Karte vom Jahre 1856 nur summarische Überblicke über größere Zeiträume enthält, ist J. DANA[1] der erste Autor, welcher die Umrisse eines speziellen relativ engbegrenzten geologischen Augenblickes publizierte. In der ersten Auflage seinse Manual of Geology 1863 finden wir drei Kärtchen (Azoic lands and seas of North America", S. 136; „North America in the cretaceous period", S. 489; „North America in the peri od of the early Tertiary", S. 530), die auch in der zweiten und dritten Auflage von 1874, bzw. 1880 wiederkehren und erst in der vierten Auflage von 1896 um mehrere neue vermehrt erscheinen, die zum Teil auch die Veränderungen innerhalb größerer Zeitenstufen zum Ausdruck bringen.

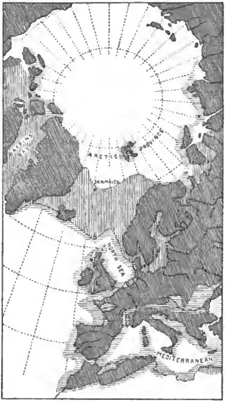


Fig. 1.

Auch OSWALD HEER gibt 1865 in der ersten Auflage seiner „Urwelt der Schweiz" — in der späteren nicht mehr — drei Kärtchen: vom Jura Mitteleuropas (S. 161), von der Kreide (S. 168) und von der Molassezeit; auch bringt er zum erstenmal tiergeographische Verhältnisse zur Darstellung durch eine Skizze der Korallenriffverbreitung im Schweizer Jurameer (S. 123). Eine reiche Anzahl von Karten Europas in verschiedenen Zeitaltern fügte ZITTEL seinem populären Werk über die Urzeit bei[2]).

Nach ANDRÉE gab DELESSE 1871 eine „Zusammenstellung der bis damals über die Entstehung der marinen Sedimente festgestellten

1) DANA, J., Manual of Geology. New York, London usw. 1863, 4. Aufl. 1896.
2) ZITTEL, K. A., Aus der Urzeit. Bilder aus der Schöpfungsgeschichte. 2. Aufl. München 1875.

Digitized by Google

Tatsachen, auf Grund derer er den Entwurf paläogeographischer Karten Frankreichs versuchte"[1]).

Im Jahre 1881 publizierte Vasseur[2]) zwei kolorierte paläogeographische Karten des Eozän- und Oligozänmeeres, und dies sind die ersten Skizzen, auf denen ein allerkürzester geologischer Augenblick (Sables de Fontainebleau und Calcaire grossier) festgehalten wird.

Bei einem Überblick über die bisherige paläogeographische Literatur muß man zweierlei Arten derselben auseinanderzuhalten suchen, nämlich: 1. Arbeiten, welche sich die methodische Durchdringung des ganzen Stoffes oder einzelner seiner Teile zur Aufgabe gemacht haben und sich mit den Prinzipien der paläogeographischen Forschung auseinandersetzen; 2. Arbeiten, in denen Kartenskizzen der vorweltlichen Land- und Meeresverteilungen gegeben werden. Unter den letzteren sind wieder zu unterscheiden a) solche, die nur einfache Sedimentverbreitungskarten sein wollen bzw. sind, und andererseits b) solche Karten, welche die Land- und Meeresverteilung auch auf Grund noch anderweitiger — z. B. tiergeographischer — Gesichtspunkte zur Darstellung bringen.

Wir sehen in diesem Zusammenhang tunlichst ganz ab von der Aufzählung der unter 2a genannten Sedimentverbreitungs- und Fazieskarten, wie etwa Burckhardts[3]) Skizze der südpazifischen Landküste in Südamerika; Dacqué-Krenkels[4]) Skizze der Verbreitung des Jura und der Kreide in Ostafrika; der von Kranz[5]) über die Südgrenze des schwäbisch-fränkischen Trias-Jurabeckens; der von Barrois über die Verbreitung des Kreidemeeres in Großbritannien[6]); der von Maillard über das Purbeck im Schweizer Jura[7]); einiger Skizzen von Charles Lyell[8]) usw., welche trotzdem aber paläogeographisch von größtem Wert sind. Endlich werden nicht aufgezählt: Kartenskizzen mit der Verbreitung gewisser Tier- oder Pflanzenarten. Unter diesen Karten muß man wiederum zweierlei Arten unterscheiden: einmal solche, die auf einer nur die jetzige Erdoberfläche wiedergebenden Projektion das Vorkommen der betreffenden fossilen Organismen eintragen. Hierher gehören Skizzen wie die von White[9]) zur Veranschaulichung der Verteilung der Gangamopterisflora auf

1) Delesse, M., Litbologie des mers de France et des mers principales du globe. Paris 1871. 471 S. (Mit Tabellen und Tafeln.) (Teste Andrée, K., Naturw. Wochenschr., Jena 1912, S. 241.)

2) Vasseur, G., Recherches géologiques sur les terrains de la France occidentale. I. Partie: Bretagne. (Zwei paläogeogr. Karten.) Paris 1881.

3) Burckhardt, C., Traces géologiques d'un ancient continent pacifique. Revista Museo de la Plata 1900, Tome X, S. 177. Das dabei befindliche Kärtchen reproduziert in: Palaeontographica 1903/04, Bd. 50 und in der Geol. Rundschau, Leipzig 1911, Bd. II, S. 496.

4) Dacqué, E. und Krenkel, E., Jura und Kreide in Ostafrika. Beilagebd. XXVIII z. N. Jahrb. f. Min. usw., Stuttgart 1909, S. 185 u. 220.

5) Kranz, W., Geologische Geschichte der weiteren Umgebung von Ulm a. D. Jahresh. vaterl. Vereins f. Naturk. Württemb., Jahrg. 61, Stuttgart 1905, S. 177.

6) Barrois, Ch., Recherches sur le Terrain crétacé aupérieur de l'Angleterre et de l'Irlande, Taf. II. Lille 1876.

7) Maillard, G., Invertebrés du Purbeckien du Jura. Mém. Soc. paléont. Suisse, Vol. XI. (Mit Tafel.) Genf 1884.

8) Lyell, Ch., Geologische Entwicklungsgeschichte der Erde und ihrer Bewohner (deutsch von Cotta), Berlin 1857, S. 272, 353.

— Principles of Geology, 11. Aufl., Vol. I, London 1872, S. 254.

9) White, D., Permocarboniferous climatic changes in South America. Journ. of Geol., Vol. XV, Chicago 1907, S. 619.

der Südhalbkugel zu jungpaläozoischer Zeit, oder die Aucellenverbreitungskarte von POMPECKJ[1]), oder die vom Verfasser zur Veranschaulichung der Verbreitung tertiärer Schildkrötengattungen entworfenen (Pal.-Geol. Abh., Bd. XIV, 1912), oder die in OSBORNS[2]) „Age of Mammals" gegebenen Verbreitungskarten. Die andere Art, die wir unterscheiden, sind Karten, welche eine paläogeographische Verteilung von Land und Meer in mehreren aufeinanderfolgenden Zeitstufen auf ein einziges Blatt projizieren und in die so konstruierten Meer- und Landflächen die Verbreitung bestimmter Gattungen eines größeren geologischen Zeitraumes eintragen. Nach diesem Prinzip ist STROMER VON REICHENBACHS[3]) Karte der Nummulitenverbreitung im Eozän, meine im Kapitel „Paläoklimatologie" gegebene Rudistenkarte und SPEYERS Verbreitungskarte der Jurakorallen[4]) entworfen. Auch Publikationen, welche spezielle paläogeographische Probleme, wie die Permanenz der Tiefsee und Kontinente, die Polverlegungen usw. behandeln, werden nicht angeführt. Auch die Darstellungen der Verbreitung des diluvialen Eises sind in diesem Zusammenhang hier nicht mitberücksichtigt. Sie folgen später. Es ist allerdings sehr schwer, zwischen allen diesen bisher aufgezählten Kategorien in Wirklichkeit streng zu unterscheiden und viele Arbeiten, die nur Kartenskizzen der Sedimentverbreitung bringen, bedeuten in Wirklichkeit echt paläogeographische Rekonstruktionen, z. B. WAGNERS Karten der Muschelkalkfazies[5]) (s. Kap. IX); oder sie beschäftigen sich auch mit der prinzipiellen Seite der Sache und mit den Methoden der Paläogeographie.

Entschieden die aufsehenerregendste, ihrem Inhalt und ihrer Form nach am meisten durchdachte rein paläogeographische Arbeit liegt in NEUMAYRS Studien „Über klimatische Zonen während der Jura- und Kreidezeit"[6]) und über „die geographische Verbreitung der Juraformation" vor. Sein Vorläufer hierin war MARCOU[7]), der eine tiergeographische und geographische Jura-Erdkarte 20 Jahre vor NEUMAYR publizierte (Figur 2). Die römischen Ziffern bedeuten die tiergeographischen Provinzen, mit α und β sind die homöozoischen Gürtel bezeichnet. Wenn für die Juraformation das seit 25 Jahren erreicht ist, was für jede andere Erdperiode vorerst noch ein erstrebens-

1) POMPECKJ, J. F., Über Aucellen- und aucellenähnliche Formen. N. Jahrb. f. Min. usw., Beibd. XIV, 1901, S. 319—368. (Mit Tafel XVII.)

2) OSBORN, H. F., The age of Mammals in Europa, Asia, North America. New York 1910.

3) STROMER VON REICHENBACH, E., Lehrbuch der Paläozoologie, I. Leipzig (Karte zwischen S. 42 u. 43.)

4) SPEYER, C., Die Korallen des Kelheimer Jura. Paläontographica, Bd. 59, Stuttgart 1912 (1913), S. 193ff., Taf. XXV.

5) WAGNER, G., Beiträge zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte des oberen Hauptmuschelkalkes und der unteren Lettenkohle in Franken. Geol. u. Paläont. Abh., N. F., Bd. XII, Jena 1913, S. 275—452, Taf. II, III.

— Beiträge zur Kenntnis des oberen Hauptmuschelkalkes in Elsaß-Lothringen. Zentralbl. f. Mineral. usw., Stuttgart 1913, S. 552.

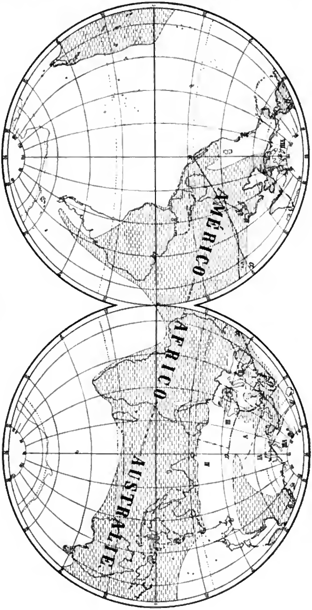
6) NEUMAYR, M., Über klimatische Zonen während der Jura- und Kreidezeit. Denkschr. math.-naturw. Kl. K. K. Akad. d. Wiss. Wien 1883, Bd. XLVII, S. 227—310. (Mit Karte.)

— Die geographische Verbreitung der Juraformation. Ibid. 1885, Bd. L, S. 57—142. (Mit Karte.)

— Erdgeschichte, 2. Aufl., Leipzig u. Wien 1895, S. 263.

7) MARCOU, J., Lettres sur les roches du Jura et leur distribution géographique dans les deux hémisphaeres. Paris 1857—1860. (Tafel I u. II.)

wertes Ziel bleibt, nämlich die paläogeographische, paläoklimatologische und paläobiogeographische Durchdringung des stratigraphischen und paläontologischen Stoffes, so verdanken wir dies wohl einzig



Figur 2.

und allein dem Anstoß jener NEUMAYR'schen Abhandlungen, welche eine angeregte Diskussion gezeitigt haben, deren letzte reife Frucht uns in der ebenfalls mit einer Karte versehenen Arbeit von V. UHLIG[1]) über „Die marinen Reiche des Jura und der Unterkreide" vor kurzem noch beschert worden ist. Abgesehen von den konkreten Resultaten, die NEUMAYRS Werk direkt sowohl, wie indirekt durch Anregung anderer Forscher uns verschafft hat, besteht sein Hauptverdienst darin, daß er zum erstenmal bewußt und erfolgreich gezeigt hat, daß Paläogeographie nicht nur Rekonstruktion vorweltlicher Land- und Meeresgrenzen, sondern auch Tiergeographie, Klimatologie und Biologie bedeutet. MARCOUS Skizze ist übrigens die erste paläogeographische Weltkarte gewesen, weshalb wir sie beistehend wiedergeben.

Wie so oft in der Wissenschaft eine einmal anerkannte Autorität auch dann noch fortwirkt und den Entwicklungsgang beeinflußt oder hemmt, wenn ihre seinerzeit einen großen Fortschritt bedeutenden Resultate und Gedankengänge längst veraltet oder gar widerlegt sind, so sehen wir auch NEUMAYRS Karte der Jurazeit mit fast stereotyper Sicherheit bis zum heutigen Tag in Werken allgemeineren Inhalts wiederkehren, obwohl in der Spezialliteratur längst wesentliche Modifikationen an jener Karte angebracht worden sind und obwohl richtigere neue Entwürfe an allgemein zugänglichen Stellen vorliegen.

Es ist gerade im Hinblick auf NEUMAYR auffallend, daß zwar eine sehr große Zahl von paläogeographischen Übersichtskarten und Detailskizzen schon seit den fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts in der Literatur vorhanden ist, daß aber nur ganz vereinzelt der Versuch gemacht wurde, inhaltlich und methodologisch den Begriff Paläogeographie zu definieren und im Zusammenhang die Methoden darzustellen, nach denen dieser Wissenszweig arbeiten kann und muß. Auch hat niemand — wenigstens nicht im Zusammenhang — auf die der paläogeographischen Forschung und Darstellung im Wege stehenden prinzipiellen Schwierigkeiten hingewiesen; nur gelegentlich wird einmal da oder dort ein absprechendes Urteil über die vielen Versuche einer kartographischen Rekonstruktion der vorweltlichen Länder und Meere gefällt.

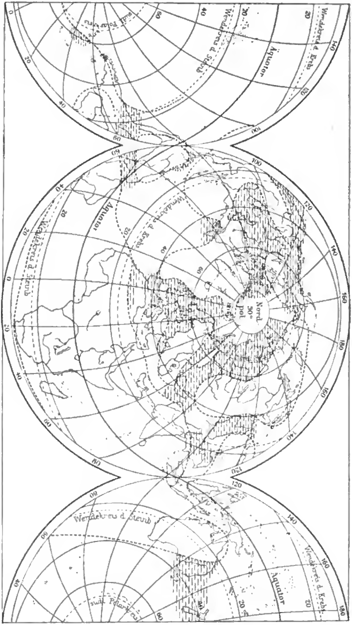
NEUMAYRS Kartenentwurf gehört zu denen, welche mehrere Zeitstufen auf eine einzige Fläche projizieren, sie will und kann also kein Bild der wirklichen Oberfläche zur Jurazeit geben. Ganz anders LAPPARENT[2]) in seinem „Traité de Géologie", wo für jede einzelne Stufe unter gleichzeitiger genauester Aufzählung von deren Verbreitungsgebieten detaillierte Karten sowohl für Frankreich, wie für Europa und für die ganze Erde mitgeteilt werden. In der ersten Auflage von 1885 finden wir nur eine Rekonstruktion des zentralfranzösischen Karbon, in der dritten von 1893 kommt die diluviale Eisausdehnung in Europa hinzu, und in der vierten 1900 und fünften 1906 wird eine Fülle spezieller und Weltkarten aus allen größeren Zeitaltern und den meisten Unterabteilungen derselben mitgeteilt — alle auf eigenen, bis ins Detail gehenden stratigraphischen Studien basiert und mit einer Präzision und Übersichtlichkeit gezeichnet, die von keiner anderen paläogeographischen Darstellungsweise bisher über-

1) UHLIG, V., Die marinen Reiche des Jura und der Unterkreide. Mitteil. d. Wiener Geol. Ges. 1911, Bd. IV, S. 329—448.

2) LAPPARENT, A. DE, Traité de Géologie. 1. Aufl. Paris 1885; 3. Aufl. 1893; 4. Aufl. 1900; 5. Aufl. 1906.

Digitized by Google

troffen worden sind. Lapparents Karten bedeuteten daher bis vor kurzem sowohl formal, wie ihrer inneren Solidität nach den Höhe-



Figur 3.

punkt paläogeographischer Darstellungsweise (Fig. 3), zumal er die Meere nicht überall durchzieht, sondern nur dort durch Schraffuren angibt, wo sie nachgewiesen sind; er erreicht damit, daß der Beschauer auf den ersten Blick das Subjektive vom objektiv Gegebenen in dem Kartenbild zu trennen weiß. Das beigegebene Kartenbild stellt die Land- und Meeresverbreitung zur Obersilurzeit dar,

Wohl eine der minutiösesten Ausarbeitungen paläogeographischer Spezialkarten unter den Vorgängern LAPPARENTS bietet der bekannte „Essai" von CANU[1]), der in seinem Atlas nicht weniger als 57 Karten Frankreichs mitteilt. Da der Maßstab groß ist, hat er die Möglichkeit, auch wichtige oder interessante Fossilvorkommen mit Gattungs- und Artbezeichnungen einzutragen, so daß man nicht nur den Verlauf der Land- und Meeresgrenzen aus seinen Karten ersieht, sondern auch ein ziemlich anschauliches Bild der wichtigeren Elemente des Tier- und Pflanzenlebens erhält. CANU macht, wenn auch in ungleich primitiverer und unzureichenderer Weise als die vorhin genannten Forscher, den Versuch, einiges über die Methoden der Paläogeographie zu sagen. Er erkennt ganz richtig, daß eine paläogeographische Karte streng genommen nur eine Momentphotographie der jeweiligen Erdoberfläche in einer stratigraphisch bestimmten Zeitphase sein kann, und er sucht festzustellen, welche Momente sich in jeder Stufe festlegen lassen. Er schwört auf MAYER-EYMARS Phasentheorie (vgl. den Abschnitt über Sedimentationszyklen), wonach jede Stufe in zwei (eine trans- und regressive) marine Unterstufen als kleinste geologisch brauchbare Zeiteinheiten zerfalle. In Kap. IV und V gibt er im Lapidarstil eine Anzahl von Sätzen (z. B. „Les espèces identiques entre deux bassins voisins annoncent des communications entre eux"; oder „Quand une mer envahit un continent, elle submerge les terres basses et remplis les dépressions. D'après les contours de cette mer la restauration topographique de l'époque précédente est partiellement possible usw. ..."), nach denen er wohl bei seinen mit geradezu bienenhaftem Fleiß entworfenen 57 Karten verfahren ist.

Neben solchen älteren Hauptarbeiten und den verschiedenen untergeordneten Skizzen aus der Anfangszeit der paläogeographischen Forschung existiert teils gleichzeitig, teils folgend, eine Unmenge vorzüglicher Spezialkarten sowohl einzelner Länder und Kontinente, als auch der ganzen Erdoberfläche.

Zu den ersteren gehören nach SCHUCHERT (l. c. S. 433) die von WINCHELL in drei Auflagen seiner „Geological Studies" 1886—1889 entworfenen sechs paläogeographischen Skizzen der nordatlantischen Region. Mit dieser beschäftigt sich auch HULL[2]) in einem 1882 erschienenen und mit drei Karten des nordatlantischen Kontinentes im Archaikum, Silur und Karbon versehenen Aufsatze.

In dem Werk von JUKES-BROWNE „The building of the British Isles"[3]) befinden sich mehrere Karten der geographischen Vergangenheit Englands, und in dem Werke PENCKS „Das Deutsche Reich"[4])

1) CANU, F., a. a. O. Bei ihm findet sich auch eine zuverlässige, aber aus vielen Nummern bestehende Aufzählung paläogeographischer Kartenentwürfe bis zum Jahre 1893.

2) HULL, Palaeo-geological and -geographical maps of the British Islands. Sci. Transact. Roy. Dublin Soc. 1882, Vol. I.

3) JUKES-BROWNE, A. J., The building of the British Isles. A study on geographical evolution. London 1888. 2. Aufl. London 1892.

4) PENCK, A., Das Deutsche Reich, Wien, Prag, Leipzig 1887, S. 110ff.

Digitized by Google

finden wir fünf paläogeographische Karten Europas zur Trias-, Jura-, Kreide-, Tertiär- und Eiszeit.

Zwischen 1890 und 1900 erschienen die Übersichtskarten in Kokens „Vorwelt"[1]) und in der Lethaea palaeozoica[2]), welche jedoch nur mehr oder minder summarische Überblicke über die Hauptlandkomplexe während mehrerer größerer Perioden gehen, und die auch in dem unten noch zu erwähnenden Werk von Arldt modifiziert wiederkehren[3]). Nathorst[4]) gab 1894 zwei Kärtchen des kambrischen und des Silurmeeres in einzelnen Teilen Schwedens, Semper 1896 mehrere Kartenskizzen der nordhemisphärischen Luftverhältnisse und Meeresströme zur Eozänzeit unter der Annahme einer Polverlegung im 20° E. Greenwich nach Nordamerika zu[5]) und Katzer[6]) eine Karte des Mitteldevons der ganzen Erde.

Von den amerikanischen Autoren haben sich in diesem Zeitraum Walcott, Weller und Williams mit der Rekonstruktion des amerikanischen Kontinentes und seiner Einzelheiten während verschiedener Zeiten beschäftigt. Von dem Ersteren[7]) existiert eine Karte Nordamerikas zu Beginn der Kambrischen Zeit mit gleichzeitiger Eintragung der Formationsvorkommen; desgleichen eine ebensolche des nordamerikanischen Kontinentes am Beginn des Untersilur. In einer der geologischen Zeitrechnung dienenden Arbeit gibt derselbe Autor eine Karte der den nordamerikanischen Kontinent im Laufe der Zeit bedeckenden Hauptmeeresbecken (Cordilleran Sea, Mississippian Sea, Appalachian Sea), die im Kapitel über die geologische Zeitmessung wiedergegeben ist.

Weller[8]) trägt auf zwei Kärtchen das Vorkommen und die vermutlichen Küstenlinien des nordamerikanischen siluren Epikontinentalmeeres ein, dessen biologische Verhältnisse er untersucht.

Eine sehr anschauliche paläogeographische Studie über das Devonmeer Nordamerikas und seine Fazies bietet eine mit einer Karte versehene Arbeit von Williams[9]), welcher trotz der verschiedenen Fazies ein einheitliches Becken annimmt und in vorbildlicher Weise Untersuchungen anstellt, von wo das Sedimentärmaterial in die einzelnen Regionen des Beckens hineingebracht wurde.

Zwischen 1900 und jetzt haben viele amerikanische Autoren ebenfalls paläogeographische Karten publiziert. Logan[10]) rekon-

1) Koken, E., Die Vorwelt und ihre Entwicklungsgeschichte. Leipzig 1893.

2) Frech, F., Lethaea paleozoica. Stuttgart 1897—1902.

3) Arldt, Th., Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Ein Beitrag zur vergleichenden Erdgeschichte. Leipzig 1907. (730 S. u. 19 Karten.)

4) Nathorst, Ch. D. G., Sveriges geologi usw., Stockholm 1894, S. 138, 139.

5) Semper, M., Das paläothermale Problem, speziell die klimatischen Verhältnisse des Eozäns in Europa und im Polargebiet. Inaug.-Dissert. München 1896.

6) Katzer, F., Das Amazonasdevon und seine Beziehungen zu den anderen Devongebieten der Erde. Sitz.-Ber. d. K. Böhm. Ges. d. Wiss. (math.-naturw. Kl.) Prag 1897. (Sep.-Abz., 50 S.) (Mit Karte.)

7) Walcott, Ch. D., The Cambrian. Bull. U. S. geol. Survey No. 81, 1891, Pl. 3.

— The North American Continent during the cambrian time. Twelfth Ann. Rep. U. S. geol. Survey 1891, Taf. XLIII.

8) Weller, St., The silurian fauna interpreted on the epicontinental basis. Journ. of Geol., Vol. VI, Chicago 1898, S. 692—703.

9) Williams, H. S., On the southern devonian formations. Americ. Journ. Science 1896, Vol. III, Ser. 4, S. 393—474.

10) Logan, W. N., A north-american epicontinental Sea of jurassic age. Journ. of Geol., Vol. VIII, Chicago 1900, S. 241.

Digitized by Google

struierte ein mittel-oberjurassisches Inlandmeer im Westen von Nordamerika, dem SCHUCHERT den Namen „Logansee" gegeben hat. VEATCH[1]) publizierte vier Spezialkärtchen der Unter- und Oberkreide, der Kreide-Tertiärgrenze und der Oligozänzeit der südlichen Vereinigten Staaten, W. D. MATTHEW[2]) Erdkarten der Tertiärzeit und des Altquartärs, G. F. MATTHEW[3]) zwei Karten des Unterhuron und des Silur (teste SCHUCHERT l. c. S. 436), ULRICH und SCHUCHERT[4]) über die paläozoischen Meer- und Landgrenze in den östlichsten Vereinigten Staaten, BERKEY[5]) zwei aus dem Untersilurischen Mississippi-Inlandmeer und GRABAU[6]) vier zum Teil auch paläobiologischen Zwecken dienende Karten des älteren und mittleren Paläozoikums von Nordamerika. Zwei kleine Spezialkärtchen des Helderberg- und Oriskanymeeres im Staat New York finden sich in einer im übrigen paläontologisch-stratigraphischen Arbeit von CLARKE[7]). Eine solche, ein kleines Areal nur wiedergebende Spezialkarte lieferten u. a. VASSEUR und DOLLFUS vom nordfranzösischen Alttertiär (Rupélien), DÉPERET und FONTANNES vom Neogen des Rhônebassins[8]), GOSSELET von der devonischen französisch-westfälischen Meerenge[9]), FABRE von Perm und Trias westlich der Strecke Valence-Montpellier[10]) und neuestens SCUPIN von der schlesischen Oberkreide[11]).

Eine neuere, als eigenartig hervorzuhebende Weltkarte ist die im Festband des „Neuen Jahrbuches für Mineralogie usw." erschienene Darstellung der Permzeit von KOKEN[12]), welche die Land-, Meer- und Eisverhältnisse und einen Rekonstruktionsversuch der damaligen Lage der Pole im Indischen Ozean, bzw. in Mexiko zeigt. Sie ist in derselben Projektionsart entworfen, wie die KREICHGAUERschen Karten[13]) mit den Polwanderungen, worüber später noch Näheres gesagt wird.

Besonders bemerkenswert als erster und einzigartiger paläogeographischer Versuch ist der Entwurf einer Isobasenkarte des Yoldiameeres in Fennoskandia, den RAMSAY gemacht hat[14]).

1) VEATCH, A. C., Geology and underground water resources of North Louisiana and Southern Arkansas. Profess. Paper, No. 46. U. S. geol. Survey, S. 18/19. Washington 1906.

2) MATTHEW, W. D., Hypothetical outlines of the continents in the tertiary times. Bull. Americ. Mus. Nat. Hist., No. 22, (7 Karten). Albany 1906, S. 359—383.

3) MATTHEW, G. F., Bulletin Nat. Hist. Society of New Brunswick 1908, Vol. VI.

4) ULRICH, E. O. and SCHUCHERT, CH., Paleozoic seas barriers in Eastern North America. New York State Mus. Bull. 52, Albany 1902, S. 633, Plate 9.

5) BERKEY, C. P., Paleogeography of Saint Peter time. Bull. Soc. geol. America, Vol. XVII, New York 1906, S. 229—250.

6) GRABAU, A. W., Physical and faunal evolution of North America, during Ordivicic, Siluric and early Devonic time. Journ. of Geology, Vol. XVII. (Mit 4 pal. Textkarten.) Chicago 1909. S. 209—252.

7) CLARKE, J. M., Early devonic history of New York and Eastern North America. Mem. 9. New York State Mus., Albany 1908, S. 8, 9.

8) HAUG, E., Traité de Géologie, Vol. II, Paris 1911, S. 1450, 1458, 1626, 1628.

9) LAPPARENT, A. DE, a. a. O. (5. Aufl.), S. 838.

10) FABRE, G., Le Permien dans l'Aveyron, la Lozère, le Gard et l'Ardèche. Bull. Soc. géol. France, Tome XVIII, 3. Sér., Paris 1889/90, S. 25.

11) SCUPIN, H., Die Löwenberger Kreide und ihre Fauna. Paläontographica Suppl. VI, 1, Stuttgart 1913, S. 65.

12) KOKEN, E., Indisches Perm und permische Eiszeit. N. Jahrb. f. Min. usw. Festband. Stuttgart 1907. (Mit Karte.) S. 446—546.

13) KREICHGAUER, D., Die Äquatorfrage in der Geologie. Steyl 1902.

14) HAUG, E., Traité de Géologie, Tome 1, Paris 1907, S. 502, Fig. 193.

Die Karten von Canu, Schuchert und Willis, zum Teil auch die von Lapparent oder von Vasseur einerseits, die von Koken[1]), Neumayr, Frech[2]), Arldt[3]), Kossmat[4]), Toula[5]) andererseits bilden zwei entgegengesetzte Typen, die sich in der graphischen Darstellung zunächst fast ausschließen. Die ersteren suchen die Land- und Meeresgrenzen in möglichst engbegrenzten Zeitabschnitten zu geben — es sind die „Momentphotographien", von denen die Rede war; die letzteren geben einen mehr durchschnittlichen Mittelwert, um den in einer bestimmten größeren Periode Land- und Meeresgrenzen schwankten. Ein Mittelding zwischen beiden Extremen sind etwa die von Loewe[6]) soeben publizierten beiden Devonkärtchen Rußlands. Wenn wir beispielsweise unter Neumayrs Skizze lesen: „Verbreitung von Land und Meer zur Jurazeit", so wissen wir sofort, daß diese Karte kein unmittelbares einfaches Abbild konkreter Umrißverhältnisse ist, wie sie einmal herrschten, sondern es ist gewissermaßen eine Projektion der geographischen Verhältnisse von etlichen 24 Jurastufen auf eine einzige Karte, und diese Projektion drückt lediglich aus, wo und wie ungefähr die Land- und Meeres**komplexe** im großen und ganzen zur Jurazeit von Lias α bis Malm ζ lagen. Solche Karten sollen, wie Arldt sagt, nicht so sehr den wirklichen Zustand auf der Erde in einer bestimmten Zeitphase darstellen, als vielmehr die charakteristischen Züge einer längeren Zeit, also quasi einen „Durchschnittswert". Das mag nicht nur in vielen Fällen genügen, sondern zuweilen übersichtlicher und für gewisse Zwecke brauchbarer sein als eine Unzahl aneinandergereihter Spezialkärtchen, deren gegenseitige Grenzenveränderungen vielfach von ganz sekundärer Bedeutung für größere erdgeschichtliche Fragen sind. Pompeckjs Aucellenkarte[7]) und Stromer von Reichenbachs[8]) Nummulitenkarte könnten als unter diesem Gesichtspunkt entworfen hier angeführt werden, und es ist daher dilettantisch, in solchen Karten mehr sehen zu wollen als lediglich, wie Uhlig einmal sagte, den graphischen Ausdruck des Gedankenkreises eines Autors über die wesentliche Verteilung von Festland und Meer zu einer bestimmten Zeit.

Das Extrem des entgegengesetzten Typus bilden die exakten, nur kürzeste geologische Zeitphasen fixierende Karten, wie sie in gründlichster Weise Pompeckj für das bayrische Südostufer des Jurameeres[9]) und jüngst Schuchert[10]) für Nordamerika ausgearbeitet hat. Die Zeiteinteilung ist bei beiden auf das minutiöseste festgehalten; so widmet

1) Koken, E., Die Vorwelt und ihre Entwicklungsgeschichte. Leipzig 1893.

2) Eine weitere Karte der Oberkarbonzeit von Frech findet sich in den „Studien über das Klima der geologischen Vergangenheit." Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Taf. VIII, Berlin 1902, S. 611—693.

3) Arldt, Th., Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Ein Beitrag zur vergleichenden Erdgeschichte. (730 S. u. 19 Karten.) Leipzig 1907.

4) Kossmat, F., Paläogeographie. Geologische Geschichte der Meere und Festländer. Leipzig 1908.

5) Toula, F., Das Wandern und Schwanken der Meere. Vorträge d. Ver. z. Verbreit. naturw. Kenntnisse in Wien 1908, Jahrg. 48, H. 11. (Mit 12 meist aus anderen Arbeiten zusammengestellten Karten.)

6) Loewe, H., Die nordischen Devongeschiebe Deutschlands. Beil.-Bd. XXXV z. N. Jahrb. f. Min. usw., Stuttgart 1913, S. 114 u. 115.

7) Pompeckj, J. F., Über Aucellen- und aucellenähnliche Formen. N. Jahrb. f. Min. usw., Beil.-Bd. XIV, Stuttgart 1901, S. 319—368. (Mit Taf. XVII.)

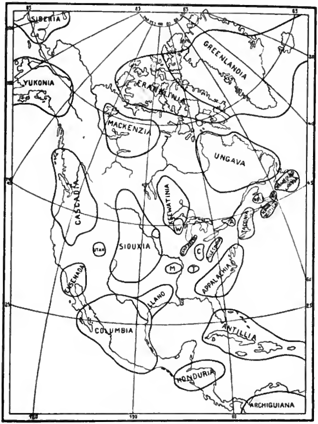
8) Stromer von Reichenbach, E., a. a. O. Karten zwischen S. 42 u. 43.

9) Pompeckj, J. F., Die Juraablagerungen zwischen Regensburg und Regenstauf. Geognost. Jahreshefte, Jahrg. 14, München 1901, S. 139—220.

10) Schuchert, Ch., Paleogeography of North America l. c. (Taf. XLVI—CI.)

Digitized by Google

Schuchert beispielsweise der in Nordamerika mit allen ihren Horizonten so ausgezeichnet bekannten Silurzeit nicht weniger als 18 Karten, wodurch seine Arbeit vorbildlich für exakteste Rekonstruktionen vorweltlicher Land- und Meeresgrenzen wird. Daß solche Studien von der allergrößten Bedeutung für die Frage nach der Permanenz des Festlandes und für die nach der Oszillation des Meeres sind, braucht nicht erst erwähnt zu werden. Außerdem enthält seine Arbeit noch



Figur 4.

zwei Übersichtskarten, eine über die Epikontinentalmeere Nordamerikas zur ganzen paläozoischen Zeit und eine weitere über die Landkerne („positive elements") derselben Zeit (Figur 4), welche solche Generalübersichten bieten sollen, wie wir sie vorhin im Gegensatz zu den „Momentphotographien" gestellt haben. In die Karten selbst trägt er nicht nur die Verteilung von Land und Meer überhaupt, sondern auch den Charakter der Sedimente und die vulkanischen Ergüsse ein. Abgesehen von der speziellen Begründung, die er für seine einzelnen Karten gibt, erörtert

er kurz auch die Methoden der Paläogeographie. Aus früherer Zeit stammen von SCHUCHERT[1]) noch drei Veröffentlichungen von paläogeographischen Karten Nordamerikas; die eine zeigt den nordamerikanischen Kontinent zur Onondaga- und Hamilton-(Mitteldevon-) Zeit, die andere ist eine Art Fazieskarte des nordamerikanischen marinen Mesozoikums, in dem er „Kanäle" und „Barrieren" zieht; die dritte umfaßt drei Karten des nordamerikanischen Devon.

SCHUCHERTS Pendant in der nordamerikanischen Literatur ist die unmittelbar zuvor erschienene Arbeit von WILLIS[2]) über den gleichen Gegenstand. Einleitend gibt WILLIS Rechenschaft über die Methode, nach der er die Landkomplexe einer bestimmten Zeit festlegt. Auf seinen Karten scheidet er genau aus: ozeanisches und epikontinentales Meer; ferner fragliche Regionen, wobei er wieder zwischen den beiden Wahrscheinlichkeiten unterscheidet: Land und ganz unbestimmtes Gebiet; und schließlich deutet er noch mit Pfeilen die aus theoretischen Erwägungen festgestellten Meeresströmungen an. Teils sind es Übersichtskarten über längere Zeiträume, die hier auf ein Blatt zusammengedrängt erscheinen, teils der Manier SCHUCHERTS entsprechende Spezialkarten kurzer Phasen.

Durch die beiden vorgenannten Arbeiten stehen jetzt die Amerikaner bei weitem an der Spitze der paläogeographischen Forschung, nachdem vorher die Franzosen mit LAPPARENT gewiß die Ersten waren.

Erst in neuerer Zeit haben sich paläogeographische Karten auch Eingang in Lehrbücher verschafft. Abgesehen von DANAS Manual und LAPPARENTS Traité, dessen Karten vereinzelt in den neueren Auflagen von KAYSERS Formationskunde[3]) und in OSBORNS[4]) „Age of Mammals" reproduziert werden, bringen CHAMBERLIN und SALISBURY[5]) in ihrem dreibändigen Lehrbuch eine größere Zahl teils selbständig entworfener, teils kopierter Karten, besonders von Nordamerika, auf denen genauer durch verschiedenartige Schraffuren die Vorkommen der betreffenden Formationen und der Wechsel der Strandlinie innerhalb einer gewissen Zeit dargestellt sind. Es sind, wenn man so will, mehr Karten der Formations- als der Meeresverbreitung. Auch SCOTT[6]) in einer „Einführung in die Geologie" gibt acht Karten der Paläogeographie Nordamerikas und DE LAUNAY[7]) in seiner dickbändigen „Science géologique".

Eine eigenartige Darstellungsweise verfolgt HAUG[8]) in seinem neuen Traité, wo er für jede Hauptformation eine paläogeographische Weltübersichtskarte bringt, die jedoch nicht nach der üblichen Weise die einfache Verbreitung von Land und Meer zeigt, sondern in denen er unterscheidet zwischen Geosynklinalmeeren und Kontinentalgebieten,

1) SCHUCHERT, CH., On the faunal provinces of the middle Devonic of North America etc. Americ. Geologist 1903, Vol. XXXII, S. 137—162, Taf. XX, XXI. — in EASTMANN, Ann. Rep. Geol. Survey Jowa 1908, Vol. XVIII.

2) WILLIS, B., Paleogeographic maps of North America. Journ. of Geol. 1909, Vol. XVII, S. 203—600. (Mit vielen Karten.)

3) KAYSER, E., Lehrbuch der geologischen Formationskunde, 4. Aufl., 1911.

4) OSBORN, H. F., The age of mammals etc., New York 1910.

5) CHAMBERLIN, TH. C., and SALISBURY, R. D. Geology, Vol. II, III. Earth history. New York 1906.

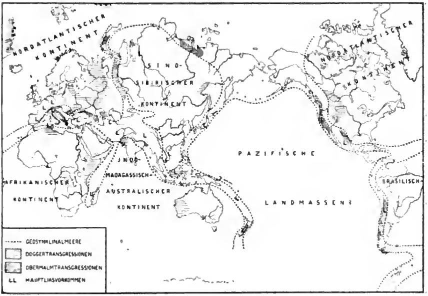
6) SCOTT, W. R., An Introduction to Geology, 2. Aufl. New York 1907.

7) DE LAUNAY, A., La Science géologique, ses méthodes, ses résultats, ses problémes, son histoire, 2. Aufl. Paris 1913. (Karten bei S. 487 u. 499.)

8) HAUG, E., Traité de Géologie, Vol. II, III. Les périodes géologiques. Paris 1907—1911. (Die Karte Fig. 5 ist von mir abgeändert.)

auf letzteren aber wieder die vorübergehenden Transgressionsareale eigens bezeichnet (Fig. 5); zugleich sind seine Skizzen oft Fazieskarten, wie die im Kapitel über Gebirgsbildung wiedergegebene. Er vermeidet dadurch die Gefahr, daß seine Übersichtskarten, in denen sich die verschiedensten Land- und Meereswechsel naturgemäß zusammendrängen, in bezug auf die einzelnen Unterabteilungen nichtssagend und indifferent werden.

Es kann ohnehin zunächst noch nicht unbedingt das einzige Ziel für unsere paläogeographische Rekonstruktionen sein, Bilder entwerfen zu wollen, die einer Oberflächenkarte der rezenten Erde entsprechen; dazu langen unsere Kenntnisse nur in einzelnen Fällen für



Figur 5.

einzelne Gegenden. Und darum sind Haugs Karten, indem er die Hauptlandkomplexe und die dauernden ozeanischen Geosynklinalen heraushebt, aber die bald zum einen, bald zum anderen Element gehörenden Areale eigens kennzeichnet, eine den jetzigen paläogeographischen Möglichkeiten in vorzüglicher Weise entsprechende Darstellungsart. Ihrer haben sich im Anschluß an Haug darum auch Lemoine[1]) und ferner der Verfasser dieses in einem Aufsatz über den lemurischen Kontinent bedient[2]).

Auf rein rezent-tiergeographischen Erwägungen fußt eine ganze Anzahl paläogeographischer Karten. So eine Karte des

1) Lemoine, P., Études géologiques sur le Nord de Madagaskar, Paris 1906, S. 465 u. 466.

2) Dacqué, E., Der Jura in der Umgebung des lemurischen Kontinentes. Geolog. Rundschau 1901, Bd. I, S. 148—168.

Digitized by Google

antarktischen Kontinentes mit seinen eventuellen früheren Zusammenhängen von ORTMANN[1]), die eingehend unter Bezugnahme auf frühere Autoren diskutiert werden. Während hier die Gesamtfaunen der wirbellosen Tiere zur Rekonstruktion verwendet werden, hat ORTMANN in einer anderen Arbeit[2]) nur auf die Süßwasserdekapoden eine umfassende Paläogeographie der ganzen Welt aufgebaut und zur Illustration seiner daraus gewonnenen Anschauungen vier paläogeographische Karten (untere und obere Kreide, unteres und oberes Tertiär) rekonstruiert, die jedoch ausdrücklich nicht, wie die von Geologen entworfenen, ein richtiges Abbild der Erdoberfläche in den betreffenden Zeiten bieten, sondern nur allgemeine Vorstellungen vermitteln wollen, welche sich aus tiergeographischen Beziehungen ergeben und die Wanderungsmöglichkeiten im groben Umriß veranschaulichen sollen.

In die gleiche Kategorie gehören die Rekonstruktionen des südamerikanischen und des brasilo-afrikanischen Kontinentes, mit denen sich seit einer Reihe von Jahren v. IHERING[3]) befaßt, und von denen besonders seine letzte zusammenfassende Publikation[4]) eine die ganze Welt umspannende paläogeographische Karte bietet.

Eine Kopie älterer Karten (von FRECH, KOKEN, NEUMAYR) finden wir in dem jüngst erschienenen Werk von SCHOTT über den Atlantischen Ozean[5]) und von WEGENER über die geologische Geschichte WESTFALENS[6]).

Zum Teil auf tiergeographischen oder nur physikalischen Erwägungen, zum Teil auf übertragenen astronomischen oder historischen Momenten beruhende Kartenrekonstruktionen haben HABENICHT[7]) und SIMROTH[8]) geliefert, welche die von dem Geologen und Paläogeographen geforderten Voraussetzungen jedoch nicht erfüllen.

Ebenso, wie die beiden zuletzt genannten, kann als paläogeographische Kuriosität die alte Rekonstruktion der pleistozänen Land- und Meeresgrenzen Europas durch den englischen Höhlenforscher und Professor der Geologie DAWKINS[9]) gelten, der, frei von aller geologischen Sachkenntnis, Europa damals höher liegen läßt und diese Lage dadurch rekonstruiert, daß er die Festländer nach ihren heutigen Umrissen unter Zuhilfenahme der marinen Untiefen erweitert (Fig. 6). Daß dadurch beispielsweise Donau- oder Nildelta größer gezeichnet werden müssen, als sie heute sind, während doch der geologische Gang der Sache umgekehrt ist, geniert ihn weiter nicht. Man kann sich an dieser Kuriosität harmlos freuen. Eigentümlich berührt es aber, wenn ein

1) ORTMANN, A. E., Tertiary invertebrates. Rep. Princeton University Exped. Patagonia 1896—1899, Vol. IV, 1902.

2) — The geographical distribution of freshwater Decapods and its bearing upon ancient geography. Proceed. Americ. Philos. Soc. 1902, Vol. XLI, S. 250. (Mit Karten.)

3) IHERING, H. v., Archhelenis und Archinotis. Gesammelte Beiträge zur Geschichte der neotropischen Region. Leipzig 1908. (350 S. u. 1 Karte.)

4) — Die Umwandlung des amerikanischen Kontinentes während der Tertiärzeit. Beil.-Bd. z. N. Jahrb. f. Min. usw., 1908, S. 134—176, Taf. V.

5) SCHOTT, G., Geographie des Atlantischen Ozeans, Hamburg 1912, S. 64 u. 65.

6) WEGENER, TH., Westfalenland. Paderborn 1914, S. 17.

7) HABENICHT, H., Grundriß einer exakten Schöpfungsgeschichte. (Mit Karten.) Leipzig 1896.

8) SIMROTH, H., Die Pendulationstheorie. Leipzig 1907. S. 17.

9) DAWKINS, W. B., Die Höhlen und die Ureinwohner Europas. Aus d. Engl. übersetzt von J. W. SPENGEL, mit Vorwort von O. FRAAS. Leipzig und Heidelberg 1876. S. 303.

Digitized by Google

auf dem Gebiete der Paläontologie so verdienstvoller Forscher wie Osborn[1]) nach der gleichen Manier wie Dawkins durch Verbindung gleicher ozeanischer Tiefen den antarktischen Kontinent zur Tertiärzeit rekonstruiert, was nach Stromer von Reichenbachs treffender Bemerkung vice versa nichts anderes ist, als die Berechnung des Alters eines Gebirges aus seiner Höhe.

Wir wollen diese Literaturübersicht abschließen mit einer sehr wichtigen Publikation, an die sich ein erfreulicher Ausblick für unsere Wissenschaft knüpft. Ich meine eine Arbeit von Karpinsky[2]), in dessen 18 Karten der Paläogeographie Rußlands sich ein überraschender Rhythmus in den Überflutungen und Regressionen im Lauf der Zeitalter kundtut (Kap. VI) und deren Bedeutung E. Kayser in seinem „Lehrbuch der allgemeinen Geologie“ (3. Aufl. 1909, S. 776) sehr treffend



Figur 6.

kennzeichnet, wenn er sagt, wir seien noch weit entfernt, die den großen Meeresbewegungen der Vorzeit zugrunde liegenden Ursachen zu überblicken, doch dürfe man schon heute vermuten, daß sie durch Gesetze geregelt werden, weil sich nur so die große Regelmäßigkeit verstehen läßt, mit der sich nach den wichtigen Darlegungen Karpinskys die Verschiebungen des Meeres in den aufeinander folgenden geologischen Perioden im Bereiche des europäischen Rußlands vollzogen haben. Bei Betrachtung der Karpinsky'schen Karten zeige sich in auffälliger Weise, daß trotz aller im Laufe der Zeit stattgehabten großen Verände-

1) Osborn, H. F., The law of adaptive radiation. Americ. Naturalist 1902, Vol. XXXVI. (Mit Karte.)

2) Kapinsky, A., (Nur russischer Titel u. Text.) Bull. Acad. Imp. Sciences. St. Pétersbourg 1895, Vol. I, 5. Sér., S. 1—10. Ferner: Übersicht der physikogeographischen Verhältnisse des europäischen Rußlands während der verflossenen geologischen Perioden. In: Beiträge z. Kenntnis d. Russ. Reiches u. der angrenzenden Länder Asiens, 3. Folge, Bd. IV. St. Petersburg 1888, S. 143—188. (Mit Karten.)

rungen dennoch zwei zueinander senkrechte Richtungen die Verbreitung der russischen Meere von jeher beherrscht haben, und daß die Bildung der Bodensenken und Einbrüche, welche dem Meere den Eintritt in das fragliche Gebiet ermöglichten, mit überraschender Regelmäßigkeit abwechselnd in uralischer und kaukasischer Richtung erfolgten.

Nichts charakterisiert besser die zu erwartende Fruchtbarkeit paläogeographischer Studien, als diese Worte, um so mehr, als man bis in die neueste Zeit hinein im persönlichen Verkehr mit Fachmännern, wie in der Literatur geringschätzigen Bemerkungen über den Wert paläogeographischer Karten begegnet, die meistens aus einer mißverständlichen Auffassung dessen, was paläogeographische Karten sind und nur sein können, herrühren.

Nach einer neuerdings von Schuchert vorgenommenen Schätzung beträgt die Zahl der bis dato publizierten paläogeographischen Karten — wohl mit Ausschluß jener der diluvialen Eisbedeckung — etwa 400.

Wenn man ein Transgressionsareal abgedeckt sich denkt und diese Abdeckung auf weite Strecken durchführt, so ist man in der Lage, eine geologische Karte einer vorweltlichen Landoberfläche zu entwerfen. Auch die orographische Beschaffenheit dieser oder eines Meeresgrundes tritt bei Anwendung jener Abhebungsmethode hervor. Versuche in dieser Richtung haben Bertrand und Reuter gemacht, ersterer für die Unterlage des Tertiär östlich von Amiens[1]), letzterer für den Meeresboden im Dogger Frankens[2]); auch den Boden des Kreidemeeres im Pariser Becken rekonstruierte Bertrand[3]).

In diesem Zusammenhang wäre auch vielleicht auf die Isobasenkarte des quartären Yoldiameeres von Ramsay hinzuweisen, auf die ich durch Haug aufmerksam wurde (Traité de Géologie, I, S. 502).

Man kann die Paläogeographie vergleichen mit einem Feuer, das lange Zeit unter einer Decke glimmt und erst spät hervorbricht. Schon vor Mitte des 19. Jahrhunderts werden Versuche in paläogeographischer Richtung durch Entwürfe von Karten und Kärtchen gemacht, aber zur Herausbildung einer um ihrer selbst willen getriebenen Paläogeographie ist es erst neuerdings gekommen.

Einen eigenen Typ paläogeographischer Forschung, der in seiner Monumentalität noch unerreicht dasteht, bilden verschiedene Kapitel des vierbändigen „Antlitz der Erde“ von Eduard Suess[4]). Seine Methode besteht in einer genialen Kombinierung geologisch-tektonischer, stratigraphischer, tiergeographischer und rein rezent-geographischer Befunde. Wenn auch der Schwerpunkt von Suess' Forschung in erster Linie in tektonischen Fragen liegt, so sind einzelne Abschnitte, wie Kapitel 6 im I. Band oder 5—7 im II. Band doch anerkannte Meisterwerke paläogeographischer Arbeitsleistung.

Es wäre interessant zu wissen, wie weit die Geistesrichtung A. Boués, d. h. das, was Boué wollte, aber nicht konnte, auf die Konzi-

1) Bertrand, M., Sur le raccordement des bassins houilliers d. Nord de la France et d. Sud. de l'Angleterre. Annales d. Mines. Paris 1893, Sep.-Abz., S. 33.

2) Reuter, L., Die Ausbildung des oberen braunen Jura im nördlichen Teile der fränkischen Alb. Geognost. Jahresh., Jahrg. 20, München 1908, S. 19—134. Textbeilage zu S. 128.

3) Bertrand, M., Sur la continuité du phénomène de plissement dans le bassin de Paris. Bull. Soc. geol. France, 3. Sér., Tome XX, Paris 1892, S. 125.

4) Suess, E., Das Antlitz der Erde, Bd. I—III. Wien u. Leipzig 1885—1904.

pierung des Werkes von Suess bewußt oder unbewußt da und dort eingewirkt hat. Beide Forschungen sind insofern verwandt, als sie die geologischen Tatsachen zu einem einheitlichen Bild des Aufbaues und der Geschichte der Erde zu verarbeiten strebten; aber wie verschieden ist der Untergrund, auf dem beide ihr Gebäude errichten! Boué veröffentlichte 1875 die oben schon zitierte Studie über „paläogeologische Geographie“, worin er die Prinzipien einer Paläogeographie „der Ozeane, Kontinente, Meeresküsten, Inlandseen und Landkonfigurationen“ entwickelt. Ihm schwebt jedoch der Nachweis mathematisch faßbarer Gesetzmäßigkeiten im Verlauf und in der Änderung der Land- und Gebirgsverteilungen als Ziel vor, bzw. es ist die stillschweigend vorausgesetzte heuristische Hypothese, von der sein Forschen Ansporn und Richtung empfängt.

Es sind die zwei konträren wissenschaftlichen Denkweisen überhaupt, die sich in Suess und Boué verkörpert finden. Jener tritt als Fragender an das ihm so reichlich zur Verfügung stehende Wissen seiner Zeit heran und läßt sich Antwort auf Antwort geben. Dieser hat einen bestimmten Wissensgrundsatz mitgebracht und holt aus dem Schatz der aufgehäuften Daten heraus, was seinem zuvor konzipierten Grundsatz neue Festigkeit und vor den Augen des wissenschaftlichen Publikums Anerkennung verschaffen kann. Boués' Arbeit enthält vielfach Sätze, wie sie nur ein Hellseher über die physische Natur des Planeten in früheren Erdzeitaltern auszusprechen wagen würde. Er beruft sich vielfach auf Namen, bzw. Abhandlungen, deren Stärke in der spekulativen Konstruktion, ja in der reinen Mutmaßung vorweltlicher Erdzustände liegt und nicht so sehr in der Beibringung kleiner und kleinster exakter Tatsachen zur Geographie der Vorwelt. Er glaubt z. B. an das „periodische Gemisch der Schutt- und Kalksteinformationen überhaupt“. Daß „dieses regelmäßig-periodisch Abwechselnde“ aber doch auf der ganzen Erde nicht da ist, daß anstatt Kalkstein so und so oft Sandstein auftritt, liegt daran, daß diese Periodizität gestört ist, und daraus muß man den Schluß ziehen, daß zu der Hauptursache der Hervorbringung des Periodischen sich noch eine Ursache gesellte, welche tellurisch ist, während die Periodizität des Ablagerungswechsels an der kosmischen Stellung der Erde zur Sonne liegt, wie anderswo auseinandergesetzt ist.

Gewiß ist es nicht nur berechtigt, sondern unbedingt notwendig, zu versuchen, allgemeine Gesetze im Verlauf der Erscheinungen zu finden. Sicher ist es ja auch, daß bei der Vielgestaltigkeit und vielfachen Bedingtheit der geologischen Vorgänge solche Gesetzmäßigkeiten nie rein und unverwischt in Erscheinung treten können, darum aber noch lange nicht an und für sich irrig zu sein brauchen, auch wenn sich ihnen einzelne oder sogar sehr viele Tatsachenkomplexe nicht fügen. Aber — und das ist der Unterschied zu dem zitierten Boué — solche Schemata müssen sich unmittelbar auf Tatsachen gründen und dürfen nicht selbst wieder deduktiv aus irgend einem allgemeinen Satz abgeleitet werden.

Bei Suess glaubt man, diese Tatsachen selbst sprechen zu hören, und seine Grundlagen und Kronzeugen sind nicht in erster Linie Autoren, die etwas meinten, sondern Werke und Abhandlungen, die Positives brachten. Er schildert z. B. den Verlauf der Gebirgszüge Südafrikas und Indiens, stellt die Tiefenverhältnisse des Indischen Ozeans fest, registriert den Charakter und die Lagerungsverhältnisse der paläo-

zoischen und mesozoischen Schichten beider Länder, bringt die Resultate der modernen Tiergeographie hinzu und vereinigt deren Licht in dem einen Brennpunkt: Ausdehnung und Zerfall des Gondwanalandes.

In diese Kategorie von paläogeographischer Literatur ist am besten auch WALTHERS Geschichte der Erde und des Lebens[1]) einzureihen, in der sich der Autor bemüht, in großen Zügen die paläobiologischen und paläobiogeographischen Zustände der verschiedenen Erdzeitalter zu skizzieren.

Wir müssen uns noch mit einer dritten Art von paläogeographischer Literatur beschäftigen, die allerdings teilweise mit der oben besprochenen Hand in Hand geht und zur Zeit, wie ich glaube, der wichtigere Teil der paläogeographischen Gesamtliteratur ist: Abhandlungen, welche sich eine methodische Durchdringung des ganzen Stoffes oder einzelner seiner Teile, eine Darlegung der Prinzipien und der Erkenntnismittel, eine Aufzeigung der Probleme, zum Ziel gesetzt haben.

Solche Arbeiten liegen erst aus neuerer Zeit vor, wenn wir von dem schon erwähnten Versuch von CANU absehen. So bemüht sich ARLDT in seinem besonders nach der tiergeographischen Seite hin ausgebauten, ebenfalls schon zitierten Hauptwerk, ferner auch gelegentlich in kleineren Abhandlungen[2]), die Methoden und Probleme der Paläogeographie darzulegen und zu ihrer Lösung beizutragen. Er behandelt besonders die Frage nach der Ausdehnung der alten Kontinente und der Entstehung der Tiefseebecken. In der französischen Literatur gab DE LAUNAY jüngst in seinem Werke „La Science géologique“ eine Übersicht der paläogeographischen Methoden und Aufgaben[3]). Für besonders bedeutungsvoll aber halte ich die Art und Weise, wie ANDRÉE darzutun sucht, welche Wichtigkeit der Sedimentpetrographie als exakter Grundlage der Paläogeographie zukommt. Zu diesem Zweck hat er selbst mit der Ausarbeitung der Grundzüge einer umfassenden Sedimentpetrographie begonnen und man darf bei der methodischen Art, mit der er die Geologie, Stratigraphie, Ozeanographie paläogeographisch auszuwerten trachtet, von dieser Seite eine große Förderung paläogeographischer Grundfragen in Zukunft erwarten. In der unten angegebenen Schrift[4]), sowie in einem weiteren, schon zitierten Aufsatze[5]) erörtert er allgemein Wesen und Inhalt der Paläogeographie und die methodischen Hilfsmittel.

SEMPER erörtert die stratigraphischen Grundlagen der Paläogeographie (Homotaxie, Isochronie), die uns keine zuverlässigen Resultate

1) WALTHER, J., Geschichte der Erde und des Lebens, Leipzig 1908.
2) ARLDT, TH., Paläogeographie und Seismologie. Hettners Geogr. Zeitschr. 1909, Jahrg. 15, S. 674—684.
— Die Größe der alten Kontinente. N. Jahrb. f. Min. usw., Stuttgart 1907, Bd. I, S. 32—44. (Mit Karte.)
— Methoden und Bedeutung der Paläogeographie. Peterm. Geogr. Mitteil. Gotha 1910, Bd. II, S. 229—233.
— Paläogeographische Fragen. Geol. Rundschau, Leipzig 1912, Bd. III, H. 2, S. 93—141. (Mit Karte.)
3) LAUNAY, L. DE, La Science géologique, ses méthodes, ses résultats, ses problèmes, son histoire, 2. Edit., Paris 1913, Kap. IX, S. 247—262; Kap. XII, S. 441—532.
4) ANDRÉE, K., Sedimentpetrographie im Dienste der Paläogeographie. „Die Naturwissenschaften“, Berlin 1913, S. 187—191.
5) Siehe Zitat auf S. 7.

liefern könnten und darum steht er der Paläogeographie so skeptisch gegenüber[1]), daß er sogar rät, auf mühevolle Untersuchungen zu verzichten, „deren Ergebnisse nicht sicherer dadurch werden, daß man die angreifbaren Punkte ignoriert, und die, geographisch betrachtet, höchstwahrscheinlich nichts als irreführende Scheinresultate sind" — als ob die Wissenschaft überhaupt anders fortschreiten könnte, als durch anhaltendes Ausbilden stets fehlerhafter Synthesen und einem Arbeiten mit stets verbesserungsbedürftigen Grundlagen!

In der nordamerikanischen Literatur, wo sich von jeher auch in den stratigraphisch-faunistischen Arbeiten weit mehr als bei uns die spezifisch-paläogeographische Denkweise kundtat, haben Schuchert[2]) und ganz besonders Willis[3]) — abgesehen von den schon erwähnten Kartenrekonstruktionen — zum Teil in ausführlicher Weise die grundlegenden paläogeographischen Fragen behandelt. Die wesentlichsten Methoden der Paläogeographie habe ich 1913 auf der Münchener Tagung des „Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts" anzudeuten gesucht[4]).

Schließlich gehören zur paläogeographischen Literatur im weiteren Sinn überhaupt alle jene Spezialarbeiten stratigraphischen und faunistischen Inhaltes, in denen versucht wird, die beschriebenen Materialien für den Entstehungsnachweis der betreffenden Vorkommen, für den Nachweis von Land und Meerzusammenhängen oder für alt-tiergeographische Zwecke auszuwerten. Von einer Aufzählung solcher Arbeiten kann natürlich keine Rede sein; denn zu ihnen gehören alle jene Beschreibungen von Fossil- und Schichtvorkommen, welche über den allerengsten Gesichtskreis auch nur um Weniges hinausgehen und in der Ermittelung eines speziellen tiergeographischen und sonstigen paläogeographischen Detailresultates gipfeln. Die meisten der oben angeführten paläogeographischen Publikationen mit Karten gehören in diese Kategorie und als spezielle Beispiele seien nur noch genannt: Abhandlungen von Stromer von Reichenbach über die Geschichte des afrikanischen Festlandes und der Südatlantis zur Alttertiärzeit[5]), von Grossouvre über die Geschichte einer paläogeographisch öfter wiederkehrenden „Meerenge von Poitiers"[6]) und von Kossmat über die Verbreitung der Kreidefazies[7]). Solche Arbeiten unterscheiden sich aber ihrem Wesen nach, wie schon gesagt, nicht von den S. 12

1) Semper, M., Die Grundlagen paläogeographischer Untersuchungen. Centralbl. f. Mineral. usw., Stuttgart 1908, S. 434—445.

2) Schuchert, Ch., Paleogeography of North America, l. c., S. 435 u. 437ff.

3) Willis, B., Principles of Paleogeography. Science, Vol. XXXI (New Ser.). New York 1910, S. 241—260.

4) Dacqué, E., Paläogeographie als Gegenstand der Forschung und Lehre. Aus der Natur, Jahrg. 9, Leipzig 1913, S. 749—753.

5) Stromer von Reichenbach, E., Die Geschichte des afrikanischen Festlandes nach neueren Forschungen. Naturw. Wochenschr., N. F., Bd. IX (Bd. XXV), Jena 1910, S. 161—163.

— Über Alttertiär in Westafrika und die Südatlantis. Jahrb. Kgl. Preuß. geol. Landesanstalt f. 1909, Bd. XXX, Berlin 1909, S. 511—515.

— Betrachtungen über die geologische Geschichte Äthiopiens. Zeitschr. deutsch. Geol. Ges., Berlin 1901, S. 35—40. (Briefl. Mitteil.)

6) Grossouvre, M. A. de, Étude paléogéographique sur le détroit de Poitiers. Compt. rend. Assoc. franç. Advanc. Sciences 1901, Paris 1901, S. 398—403.

7) Kossmat, F., Die Bedeutung der südindischen Kreideformation für die Beurteilung der geographischen Verhältnisse während der späteren Kreidezeit. Jahrb. K. K. Geol. Reichsanst., Bd. XLIV, Wien 1894, S. 459—478.

Digitized by Google

bis 25 aufgezählten Publikationen und werden dort nur deshalb nicht erwähnt, weil ihnen eine kartographische Darstellung ihrer Resultate nicht beigegeben ist.

Während man Untersuchungen z. B. über den alten Donaulauf durch das Wellheimer Trockental[1]) — ein Thema, an dem sich Geographen und Geologen gleicherweise beteiligen —, oder über die voralluviale Ausdehnung der nordamerikanischen Seen[2]), oder die Geologie der skandinavischen Halbinsel Kola zur Quartärzeit[3]), oder die diluvialen Flußläufe Norddeutschlands[4]) oder die Lage der diluvialen Elbe-Ebene in Böhmen[5]) sowohl als geographische, wie paläogeographische bezeichnen kann, haben wir es in den Abhandlungen von Philippi über die präoligozäne Landoberfläche Thüringens[6]) und von Strigel über die permische Abtragungsfläche in deutschen Mittelgebirgen[7]) mit echt paläogeographischen Arbeiten zu tun, die in einer äußerst erfolgreichen Verbindung von Stratigraphie, Tektonik und Geomorphologie zur Ermittelung vorweltlicher Oberflächenkonfigurationen bestehen. Dieses Verfahren aber haben wir oben als einen wesentlichen Teil des Inhaltes der Paläogeographie bezeichnet, wenngleich zugegeben werden muß, daß es unmöglich ist, eine scharfe Trennung zwischen der letzteren und jener zuvorgenannten Kategorie vorzunehmen. Eine Art Übergangstypus zwischen beiden bildet etwa die Abhandlung von Mordziol über die stratigraphische Gliederung und Entstehung von gewissen Tertiärablagerungen der Rheingegend und den Lauf eines unterpliozänen Stromsystems[8]).

Gerade wie bei dem Versuch, Paläogeographie von Geographie abzugrenzen, gerät man auch bei der Unterscheidung von Tiergeographie der Lebenden und Fossilen in Schwierigkeiten, weil eben eine richtige, auf Rezente sich erstreckende Tiergeographie die Kenntnis der Verbreitung der Fossilen voraussetzt. Man könnte höchstens in dem Sinne eine Gruppierung der vorhandenen paläobiogeographischen Literaturmenge durchführen, daß man unterscheidet zwischen Arbeiten, welche die Verteilung der rezenten Formen zum

1) Bayberger, F., Zum Problem des Wellheimer Trockentales. Landeskundl. Forschungen d. Geogr. Ges., Heft 6. München 1909. Dortselbst weitere Literatur über dieses Thema.

2) Grabau, A., Bull. New York State Mus., No. 45, Vol. 9, Albany 1901, S. 60 ff.

3) Ramsay, W., Über die geologische Entwicklung der Halbinsel Kola in der Quartärzeit. Helsingfors 1898. (Mit Karte u. Tafeln.)

4) Kurtz, E., Diluviale Flußläufe zwischen Unterrhein und Elbe. Progr. Gymn. Düren 1912. (Mit Karte.)

Keilhack, K., Die Stillstandslagen des letzten Inlandeises und die hydrographische Entwicklung des pommerschen Küstengebietes. Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanst. für 1898, Bd. XIX, Berlin 1899, S. 90—152. (Mit Karten u. Atlas.)

5) Sokol, R., Über das Sinken der Elbe-Ebene in Böhmen während der diluvialen Akkumulation. Centralbl. f. Mineral., Geol. usw., Stuttgart 1913, S. 91 ff.

6) Philippi, E., Über die präoligozäne Landoberfläche in Thüringen. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., Bd. LXII, Berlin 1910. S. 305—404. (Mit Karte.)

7) Strigel, A., Geologische Untersuchung der permischen Abtragungsfläche im Odenwald und in den übrigen deutschen Mittelgebirgen. Verh. d. Naturhist.-Med. Ver. Heidelberg 1912, N. F., Bd. XII, S. 63—172. (Mit Karten.)

8) Mordziol, C., Beitrag zur Gliederung und zur Kenntnis der Entstehungsweise des Tertiärs im rheinischen Schiefergebirge. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. 1908, Bd. LX, Monatsber., S. 270—284.

Digitized by Google

Gegenstand haben und die fossilen nur ad hoc heranziehen, ferner solchen, welche sich mit der Verbreitung und tiergeographischen Verteilung der fossilen allein befassen und endlich solchen, die beides gleichmäßig berücksichtigen. Zu den ersteren gehört eine Abhandlung von PFEFFER über die geologische Entwicklung der jetzigen Tierverbreitung[1]), eine Arbeit von F. SARASIN über die Tierwelt Zeylons[2]), von SCHUCHERT über die paläogeographische Bedeutung der rezenten Brachiopoden[3]), von KOBELT über die Landmollusken der paläarktischen Region[4]), wo im I. und III. Kapitel auch der Zusammenhang von Tiergeographie und Paläogeographie behandelt wird. Zu der zweiten Sorte, den fossil-tiergeographischen, gehört außer den auf S. 17 u. 15 schon genannten und mit Karten versehenen Arbeiten von NEUMAYR, UHLIG[5]), POMPECKJ, ein Aufsatz von DIENER über marine mesozoische Tierreiche[6]), von POMPECKJ über die zoogeographische Beziehung des nordwestdeutschen und süddeutschen Jura[7]), von STROMER VON REICHENBACH über Reliktenformen im indopazifischen Meer[8]) und über die Entstehung von Säugetiertypen in Afrika, von WILLISTON über die Tiergeographie der ältesten Wirbeltiere[9]), von STANTON über die Verbreitung mesozoischer Faunen in Amerika, von DOUVILLÉ über die Verbreitung der Rudisten und Nummuliten[10]), von SCHUCHERT über paläozoische Faunenprovinzen in Nordamerika und Rußland[11]). Mehr historisches Interesse verdient ein Versuch von BARRANDE, das Auftreten gewisser altpaläozoischer Faunen und Faunenelemente als Migrationserscheinungen — sogenannte Kolonien — zu deuten[12]). Über Einwanderungen fossiler

1) PFEFFER, G., Versuch über die erdgeschichtliche Entwicklung der jetzigen Verbreitungsverhältnisse unserer Tierwelt. Hamburg 1891. S. 62

2) SARASIN, F., Über die Geschichte der Tierwelt von Ceylon. Zool. Jahrb. Suppl. XII, Heft 1. Jena 1910.

3) SCHUCHERT, CH., Paleogeographic and geologic significance of recent Brachiopoda. Bull. geol. Soc. America, Vol. XXII, 1911, S. 258—275.

4) KOBELT, W., Studien zur Zoogeographie. Die Mollusken der paläarktischen Region. Wiesbaden 1897.

5) Von diesem Autor auch noch die als Muster paläogeographisch-tiergeographischer Forschung hochzuschätzende Publikation: UHLIG, V., Die Fauna der Spitischiefer des Himalaya, ihr Alter und ihre Weltstellung. Denkschr. math.-naturw. Kl. d. K. Akad. d. Wiss., Bd. LXXXV, Wien 1910, S. 531—609.

6) DIENER, C., Über die Konstanz einiger Hauptgrenzen der marinen mesozoischen Reiche. Mitteil Geol. Ges. Wien, 1912, Bd. V, S. 13—19.

7) POMPECKJ, J. F., Die zoogeographischen Beziehungen zwischen den Jurameeren Nordwest- und Süddeutschlands. Jahresber. niedersächs. geol. Ver. 1908. S. 10—11.

8) STROMER VON REICHENBACH, E., Über Relikten im indospezifischen Gebiete. Zentralbl. f. Mineral. usw., Stuttgart 1910. S. 798—802.

— Afrika als Entstehungszentrum für Säugetiere. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. 1903, Bd. 55, S. 61—67. (Sitz.-Ber.)

9) WILLISTON, S. W., The faunal relations of the early vertebrates. Journ. of Geology, Vol. XVII, Chicago 1909, S. 389—402. (Wieder abgedruckt in: Outlines of geological History etc., herausgeg. von WILLIS u. SALISBURY, Chicago 1910, S. 163—175.

10) DOUVILLÉ, H., Évolution des Nummulites dans les différents bassins de l'Europe occidentale. Bull. Soc. géol. France 1906, 4. Ser., Tome VI, S. 13—42.

— Sur la distribution géographique des Rudistes des Orbitolines et des Orbitoides. Ibid. 1900, Tome XXVIII, 3. Ser., S. 222—235.

11) SCHUCHERT, CH., On the faunal provinces of the middle devonic of America and the devonic coral subprovinces of Russia, with two paleogeographic maps. Amer. Geologist, Vol. XXXII, Urbana 1903, S. 137—162.

12) BARRANDE, J., Défense des Colonies, Tome I—V. Prag 1861—1881.

Digitized by Google

Meerestiere hat NEUMAYR[1]) und DOUVILLÉ in der letztzitierten Abhandlung, über Wanderungen bzw. tiergeographische Zusammenhänge von Fischen hat STROMER VON REICHENBACH[2]), von Säugetieren SCHLOSSER[3]) geschrieben. Die Verbreitung fossiler und zum Teil rezenter Wirbelloser und Wirbeltiere hat ARLDT mehrmals behandelt[4]).

Schließlich gibt es noch eine Kategorie tiergeographisch-paläogeographischer Arbeiten, in denen aus der jetzigen Tierverbreitung die vorweltliche Land- und Meeresverteilung abgeleitet oder wenigstens diskutiert wird und für die wir als Typus WALLACE's „Island Life" nennen wollen[5]).

Auch über andere wichtige paläogeographische Spezialprobleme, wie beispielsweise die noch keineswegs erledigte Frage nach der Permanenz der Kontinentalsockel und ozeanischen Becken, existiert eine ausgedehnte Literatur, zum Teil vergraben in allerlei Arbeiten und Büchern, deren Titel die Behandlung einer solchen Frage nicht immer erkennen läßt. Hier sei nur zur allgemeinen Orientierung einstweilen auf die betreffenden Abschnitte in der schon zitierten Abhandlung von WILLIS[6]), ferner in dem Werk von ARLDT[7]), im übrigen aber für die genannten Fragen und verwandte Themata auf die betreffenden Abschnitte im Nachfolgenden hingewiesen.

Außer dem bisher Aufgezählten existiert eine schon ziemlich reiche Literatur über die vorweltliche Klimafrage und zwar vornehmlich im Zusammenhang mit Studien über die Eiszeit oder, wie man jetzt, nach Entdeckung ältester Eiszeiten, besser sagt: diluvialen Eiszeit. Das Thema der Paläoklimatologie behandeln ganz allgemein in neueren Arbeiten u. a. ECKARDT[8]), KERNER[9]) und SEMPER[10]), letzterer jeweils mit besonderer Betonung der Schwierigkeiten und Unsicherheiten unserer paläoklimatischen Methoden; allgemeine Gesichtspunkte werden auch in Hand- und Lehrbüchern der Geologie

1) NEUMAYR, M., Zur Kenntnis der Fauna des untersten Lias in den Nordalpen. Abh. d. K. K. Geol. Reichanst., Bd. VII, Wien 1879, S. 40—44.

2) STROMER VON REICHENBACH, E., Über das Gebiß der Lepidosirenidae und die Verbreitung tertiärer und mesozoischer Lungenfische. Festschrift zum 60. Geburtstag von R. HERTWIG, Bd. II. Jena 1910, S. 619—622.

3) SCHLOSSER, M., Beiträge zur Kenntnis der oligocänen Landsäugetiere aus dem Fayum, Ägypten. Beitr. z. Paläontol. u. Geol. Österr.-Ung. u. d. Orients, Bd. XXIV, Wien 1911, S. 161—167.

4) ARLDT, TH., Die älteste Säugetierfauna Südamerikas und ihre Beziehungen. Archiv f. Naturgesch., Jahrg. 73, Berlin 1907, S. 233—244.

— Die Ausbreitung der terrikolen Oligochäten im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung des Erdreliefs. Zool. Jahrb. (Abt. f. Systematik, Geogr. u. Biol. d. Tiere), Bd. XXVI, Jena 1908, S. 285—318.

5) WALLACE, A. R., Island life or the phenomena and causes of insular faunas and floras usw. London 1880.

6) WILLIS, B., Principles of Paleogeography. l. c. S. 4 ff.

7) ARLDT, TH., Entwicklung der Kontinente, S. 1—3.

8) ECKARDT, W. R., Das Klimaproblem der geologischen Vergangenheit und historischen Gegenwart. Braunschweig 1909. Dasselbe im Auszug unter dem Titel: Paläoklimatologie. Leipzig 1910. (Göschen.)

9) KERNER V. MARILAUN, F., Das paläoklimatische Problem. Mitteil d. Geol. Ges. Wien, 1911, Bd. IV, S. 276—304.

10) SEMPER, M., Das Klimaproblem der Vorzeit. Geol. Rundschau, Bd. I, Leipzig 1910, S. 57—80 (Besprechungen). Der Arbeit ist ein umfangreiches Literaturverzeichnis beigefügt.

besprochen, wie in dem von E. KAYSER, A. DE LAPPARENT und E. HAUG, die oben schon zitiert werden. Eine eingehende Behandlung der Paläoklimatologie hat sich auch der X. internationale Geologenkongreß 1906 in Mexiko angelegen sein lassen[1]). Über das Eiszeitproblem und über die Erklärungen, die man bisher für diese wichtigste aller paläoklimatologischen Spezialfragen gegeben hat, findet sich eine bis ans Ende des 19. Jahrhunderts reichende, allerdings äußerst unvollständige historische Zusammenstellung in ZITTELS „Geschichte der Geologie und Paläontologie“[2]), die reichlich ergänzt wird durch die Aufzählungen in GÜNTHERS „Handbuch der Geophysik“[3]) und durch den Literaturnachweis in einer weitschweifigen Abhandlung von MANSON, die in den Akten des obengenannten Kongresses veröffentlich ist[4]). Im übrigen siehe das Kapitel über die Paläoklimatologie.

BROGNIART scheint der erste gewesen zu sein, der aus dem Auftreten von Insekten paläoklimatologische Schlüsse zog und daraus für die Karbonzeit ein „sonniges“ Klima ableitete[5]), während PARKINSON zuerst fossile Pflanzen paläoklimatologisch auswertete und aus den ihm bekannten Formen auf ein wärmeres Klima für fast alle Zeiten der Vorwelt schloß[6]). Nach einer Bemerkung BOUÉS hat ein gewisser K. LUDWIG ein Werk über Meeresströmungen der Vorzeit geschrieben[7]), ein Thema, dem man auch in der neueren amerikanischen Literatur häufig begegnet.

Da wir es hier vor allem auf eine Nennung paläogeographischer Karten abgesehen haben, so möge die wichtigste Literatur über glazialgeologische Karten hier noch folgen. KOKEN hat eine Weltkarte mit der permischen Vereisung gegeben[8]), ebenso DAVID, der auch eine Karte für alle wirklichen und vermeintlichen Eisvorkommen vom Algonkium bis zum Ende des Mesozoikums gibt[9]) und ebenso neuerdings SCHUCHERT[10]).

Herr Dr. LEVY war so freundlich, mir eine Zusammenstellung der wichtigsten diluvialen Eiszeitkarten zur Verfügung zu stellen, die hier folgt:

„Paläogeographische Karten der Eiszeit sind, entsprechend der vielseitigen Bearbeitung dieses Forschungsgebietes, sehr zahlreich; sie tragen als wichtiges Unterscheidungsmerkmal das Kennzeichen einer recht beträchtlichen, mitunter sogar vollkommenen Genauigkeit.

Man kann auch hier unterscheiden zwischen allgemeinen Übersichtskarten, welche die Verbreitung eiszeitlicher Erscheinungen auf

1) Compt. rend. X. Congr. géol. intern. 1906 Mexiko, 1907, Fasc. I, S. 271 f.

2) ZITTEL, K. A. v., Geschichte der Geologie und Paläontologie bis zum Ende des 19. Jahrhunderts. München 1899, S. 330ff..

3) GÜNTHER, S., Handbuch der Geophysik, 2. Aufl., Bd. II, Stuttgart 1899, S. 331ff.

4) MANSON, M. M., Climats des temps géologiques, leur developpement et leur causes. l. c. S. 349—405.

5) BROGNIART, C., On a new genus of orthopterous insects of the family Phasmidae. Geol. Magaz. Dec. II, Vol. 6, London 1806, S. 97.

6) Nach ZITTEL, K. A. v., a. a. O. S. 182.

7) BOUÉ, A., a. a. O. S. 312/13.

8) Siehe das Zitat auf S. 21.

9) DAVID, T. W. E., Conditions of climate at different geological epochs usw. Compt. rend. X. Congr. géol. intern. 1906 Mexiko, 1907, Fasc. I, S. 437.

10) SCHUCHERT, CH., Climates of geologic time. Carnegie Inst. Washington 1914, Publication No. 192, S. 263—298.

Digitized by Google

der ganzen Erde zur Darstellung bringen wollen, und Einzelkarten beschränkter Gebiete, welche einzig und allein die Grenzen und Beschaffenheit eines einzelnen Inlandeisgebietes oder eines vergletscherten Gebirgsstockes während der Diluvialperiode veranschaulichen sollen.

Bei den allgemeinen Übersichtskarten lassen sich bisher fast durchweg zwei Methoden der Darstellung unterscheiden: entweder es wurde Gewicht darauf gelegt, das Lagenverhältnis der früher vergletscherten Gebiete zu den Polen hervorzuheben — dann wurden die Polarkalotten getrennt dargestellt—, oder aber man wollte eine Übersicht geben über die ganze Erdoberfläche unter besonderer Berücksichtigung gleicher geographischer Breite — in solchen Fällen bediente man sich der Merkatorprojektion. Zu den Übersichtskarten der ersten Art gehört die von Penck[1]) 1882 veröffentlichte (meines Wissens überhaupt die erste Gesamtdarstellung der diluvialen Eiszeit), die späterhin mit Ergänzungen oft wieder abgedruckt worden ist, so bei Berghaus[2]) 1886 — aus dessen Atlas die Nordpolarkalotte noch 1911 von Haug[3]) übernommen wurde —, bei Ratzel[4]) 1902, auch in Meyers großem Konversationslexikon[5]) 1906 usw.

Für die einheitliche Darstellung der Gesamterde hat man sich auch bei der Eiszeit bisher der Merkatorprojektion bedient, da sie bei deutlicher Betonung der Pollage den Vorteil der Winkeltreue bot, wenn auch die Flächen ganz inkommensurabel waren. Meines Wissens hat Supan[6]) 1885 als erster eine derartige Darstellung gebracht, die inhaltlich sich ziemlich genau mit Pencks Kalottenkarte von 1882 (s. oben) deckt. Von späteren derartigen Karten möge hier noch diejenige von Hess[7]) 1904 und die von Arrhenius[8]) 1903 erwähnt werden.

Eine dritte, aber wenig benutzte Methode zur Veranschaulichung der gesamten diluvialen Eisentwicklung auf der Erde ist die Trennung von Land- und Wasserhalbkugel in flächentreuer (orthographischer) Azimutalprojektion. Sie findet sich in Andrées Handatlas[9]); die Landhalbkugel allein bei de Martonne[10]) 1913. Ein neuer Weg zur Gesamtdarstellung der Eiszeit ist auf der diesem Buche beiliegenden Karte versucht worden.

Bei den Einzeldarstellungen eiszeitlicher Erscheinungen hat man wieder zu unterscheiden zwischen solchen, die größere Gebiete umfassen (also gewissermaßen Übersichtskarten von beschränkter Ausdehnung) und Spezialkarten im eigentlichen Sinne. Dabei ist es natürlich, daß erstere sich meist im Zusammenhang mit Untersuchungen über die räumlich so ausgedehnten diluvialen Inlandeismassen von Nordeuropa und Nordamerika, letztere sich bei

1) Die Vergletscherung der deutschen Alpen 1882. Karte 2.
2) Physikalischer Atlas I, Geologie, erschienen 1892. Taf. V.
3) Traité de Géologie 1911, Tome II, S. 1871.
4) Die Erde und das Leben 1902. Taf. II bei S. 393.
5) 6. Aufl., Bd. V, S. 577; Artikel „Eiszeit" von Bücking.
6) Grundzüge der physischen Erdkunde, 1. Aufl. 1885; 5. Aufl. 1911, Taf. XIV.
7) Die Gletscher 1904, Karte 1.
8) Lehrbuch der kosmischen Physik 1903, Bd. I, S. 404.
9) 5. Aufl. (Jubiläumsausgabe) 1905, 6. Aufl. 1914, S. 3/4.
10) Traité de Géographie physique 1913, 2me éd., S. 607.

Betrachtung einzelner kleinerer ehemaliger Vergletscherungszentren finden.

Für die einzelnen Erdteile der Nordhalbkugel hat J. GEIKIE[1]) bereits 1874 seine bekannten Übersichtskarten gegeben, von denen Eurasien bei BRÜCKNER[2]) 1897 wieder abgedruckt wurde. Die Vereisung Europas zeigte PENCK[3]) 1887; seine Kartenskizze kehrt noch bei NEUMAYR[4]) 1895, PHILIPPSON[5]) 1906, NEUMANN[6]) 1909, HAUG[7]) 1911 u. a. wieder. Eine neuere, vortreffliche Darstellung gab PENCK 1905[8]). Die einzelnen Entwicklungsphasen des nordeuropäischen Inlandeises hat DE GEER[9]) 1896 in mustergültiger Klarheit veranschaulicht; seine übersichtlichen Kärtchen sind teilweise oft kopiert worden [u. a. bei GEINITZ[10]), KAYSER[11]), LAPPARENT[12])]. Für dasselbe Gebiet[13]) wird auch die Übersicht der „baltischen" Vereisung (letzte Eiszeit) von USSING[14]) 1903 öfters reproduziert [z. B. bei GEINITZ[15]), KAYSER[16]), HAUG[17])]. Für Nordamerika sind hier die Karten von WRIGHT[18]) 1905, CHAMBERLIN[19]) 1906 und LEVERETT[20]) vor allem zu nennen, da die erstgenannten auch die Richtung der Eisbewegung besonders dargestellt haben und ihre Karten auch in die europäische Literatur, z. B. bei GEINITZ[21]), KAYSER[22]) u. a. übergegangen sind. Sehr wichtige paläogeographische Karten sind für große Teilgebiete der nordamerikanischen Vereisung zur Darstellung ihrer einzelnen Entwicklungsphasen geschaffen worden; da sie aber unmöglich hier alle genannt werden können, möge der Hinweis auf zwei neuere umfangreiche einschlägige

---

1) The Great Ice Age, 1st. ed., 1874, 3d ed., 1894.

2) Die feste Erdrinde und ihre Formen. (In: HANN, HOCHSTETTER, POKORNY: Allgemeine Erdkunde, 5. Aufl., 2. Abt.) 1897, S. 87.

3) Das Deutsche Reich. (In: KIRCHHOFFS Länderkunde von Europa) 1887, S. 25.

4) Erdgeschichte, 2. Aufl., 1895, von V. UHLIG, Bd. II, S. 430.

5) Europa. (In: SIEVERS' Allgemeiner Länderkunde), 2. Aufl., 1906, S. 29.

6) Mitteleuropa. In: SCOBELS Geographischem Handbuch, 5. Aufl., 1909, Bd. I, S. 429.

7) Traité de Géologie 1911, Tome II, S. 1777.

8) Die Entwicklung Europas seit der Tertiärzeit. Wissensch. Ergebnisse des Internat. Botan. Kongr. Wien 1905. Karte 1.

9) Om Skandinaviens geografiska Utveckling efter Istiden 1896.

10) Die Eiszeit 1904, Tafel II.

11) Lehrbuch der Geologie, 4. Aufl., 1911, Bd. II, S. 657.

12) Traité de Géologie, 1900, 4me éd., Tome III, S. 1578, 1625.

13) Vgl. auch die Karte von GEINITZ, FRECH, PARTSCH in Lethaea geognostica (Quartär) 1902, Tafel.

14) Om Jyllands Hedesletter og Teorierne for deres Dannelse. Overs. over d. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Forhandl. 1903. (Bull. de l'Acad. Roy. d. Sciences et d. Lettres d. Danemark 1903), 1904, S. 120. Auch im franz. Résumé (La grande moraine terminale, dite haltiquo, en Jutland). Ibid. S. 164.

15) a. a. O. S. 57.

16) a. a. O. S. 661.

17) Traité de Géologie 1911, Tome II, S. 1783.

18) The Ice Age in North America 1905.

19) Geology 1906, Vol. III, S. 329/331.

20) Comparison of American and European Glacial Deposits. Zeitschr. für Gletscherkunde 1910, Bd. IV, Taf. I.

21) a. a. O. S. 162.

22) a. a. O. S. 693.

Arbeiten von LEVERETT[1]) genügen. Endlich besitzen wir nunmehr auch für die Südhemisphäre eine hierher gehörige Darstellung: es ist die grundlegende Karte von SIEVERS[2]) für Südamerika, die jetzt auch allgemeiner zugänglich ist[3]).

Bei den Spezialkarten wird jedermann zunächst an die Alpen denken, deren diluviale Vergletscherung im bayrischen Teil schon 1873 von STARK[4]), 1882 von PENCK[5]) gezeichnet wurde; auch in der Schweiz, der Heimat der Glazialforschung, in Frankreich und Italien wurden derartige Versuche gemacht, so von FAVRE 1884[6]), DE MORTILLET[7]) 1861, DE CHARPENTIER 1841[8]) — dem ersten Verfasser einer diluvialgeographischen Karte — u. a. Alles aber wurde weit in Schatten gestellt durch die Diluvialkarten, die PENCK und BRÜCKNER in ihrem großen Hauptwerke[9]) veröffentlicht haben. In diesem Zusammenhange möge hier auch das prächtige, auf den Untersuchungen von VON KLEBELSBERG beruhende Inngletscherrelief im alpinen Museum in München erwähnt werden[10]). Die Rekonstruktion eines einzelnen Eiszeitgletschers hat HESS[11]) versucht.

Auch für die Alpen von Neuseeland besitzen wir derartige Karten, aus älterer Zeit von VON HAAST[12]), aus neuerer von MARSHALL[13]). Von kleineren Gebieten bestehen zahlreiche Einzeluntersuchungen mit Karten; als Beispiele mögen hier die Karten von STEINMANN[14]) für den Schwarzwald, von SCHUMACHER[15]) für die deutschen und von DELEBECQUE[16]) für die französischen Vogesen, von PARTSCH[17])

1) The Illionis glacial lobe. Monographs of the U. S. Geol. Survey 1899, Vol. XXXVIII. Glacial formations and drainage features of the Ohio and Erie basins. Jb. 1902, Vol. XLI.

2) Die heutige und die frühere Vergletscherung Südamerikas. Sammlung wissenschaftl. Vorträge a. d. Gebiete d. Naturwissenschaften u. d. Medizin 1911, H. 5, Taf. 1.

3) S. SIEVERS, Südamerika, 3. Aufl., 1914, S. 64.

4) Die bayerischen Seen und die alten Moränen. Zeitschr. d. D. u. Ö. Alpenvereins 1873, Bd. V, Tafel.

5) Die Vergletscherung der deutschen Alpen 1882. Karte 1.

6) Carte des phénomènes erratiques et des anciens glaciers du versant nord des Alpes suisses et de la Chaîne du Mont-Blanc. Publ. par la Comm. géol. de la Soc. helv. des Sc. nat. 1884, feuille 1—4.

7) Carte des anciens glaciers du versant italien des Alpes. Atti Soc. It. Sc. nat. 1861, Vol. IIII, S. 44.

8) Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhone 1841. Carte.

9) Die Alpen im Eiszeitalter 1901—1909. 3 Bde. Vgl. die Karte von LAUTENSACH im Geogr. Anzeiger 1909, Bd. X, 7. S. 19.

10) Vgl. Mitteil d. D. u. Ö. Alpenvereins N. F., 1913, Bd. XXIX, S. 278f.

11) Die Gletscher 1904. Karte IV.

12) Geology of the provinces of Canterbury and Westland. New Zealand 1879. Abgedruckt bei BERGHAUS, a. a. O.

13) New Zealand and adjacent Islands. In: STEINMANN u. WILCKENS Handb. d. region. Geologie 1911, Bd. VII, 1, S. 48.

14) Die Eiszeit und der vorgeschichtliche Mensch. „Aus Natur und Geisteswelt" 302, 1910, S. 68.

15) Übersichtskarte der wichtigsten Glazialbildungen der südlichen und mittleren Vogesen. Mitteil. d. Komm. f. d. geol. Landesunters. von Elsaß-Lothringen 1908, Bd. VI, Taf. VI.

16) Le Système glaciaire des Vosges françaises. Bull. Serv. Carte géol. Fr. No. 79, 1901, Tome XII, Taf. I.

17) Die Vergletscherung des Riesengebirges. Forsch. z. deutsch. Landes- u. Volkskunde 1894, Bd. VIII, 2. Beilage 6.

Digitized by Google

für das Riesengebirge, von BOULE[1]) für die Auvergne, von CVIJIĆ[2]) für die Gebirge Südosteuropas, von LUCERNA[3]) für Korsika, von PENCK[4]) für die Pyrenäen, von ATWOOD[5]) für das Uintagebirge, von HOLE[6]) für einen Teil von Colorado, von DAVID[7]) für das Hochgebirge von Neusüdwales, von GREGORY[8]) für den Mount Lyell auf Tasmanien genügen. Daß mißverständliche Auffassung pseudoglazialer Verhältnisse auch ganz wertlose Darstellungen ins Leben ruft, zeigt eine Karte von HABENICHT[9]).

Neben den Darstellungen, welche nur die Ausbreitung der diluvialen Eismassen zeigen sollen, gibt es naturgemäß auch solche, welche sich mit damit zusammenhängenden Erscheinungen anderer Art befassen. Natürlich spielt dabei das Klima eine große Rolle; es mögen hier nur die Kärtchen von GEINITZ[10]) über die Luftdruckverteilung zur Zeit der beiden großen nordischen Inlandeismassen erwähnt werden. Eine „Höhenkarte der Schneelinie in Europa während der Gegenwart und Eiszeit" hat PENCK[11]) 1884 versucht. Auch tiergeographische Darstellungen für die Eiszeit wurden versucht. Aus der Zahl solcher diluvial-ökologischer Karten sei hier nur diejenige von OSBORN[12]) über die Ausbreitung des Moschusochsen in Nordamerika zur Eiszeit und heute angeführt.

Mit nichtglazialen, diluvialen Verhältnissen befassen sich ebenfalls zahlreiche Karten. Die Urstromtäler am Rande des nordischen Inlandeises in Norddeutschland haben KEILHACK[13]) und WAHNSCHAFFE[14]) dargestellt. Als Beispiel für die zahlreichen Arbeiten, welche sich mit der diluvialen Hydrographie glazial unbeeinflußter Gebiete beschäftigen, sei hier nur LEMOINES[15]) Karte der hydrographischen Entwicklung des Timbuktubeckens genannt. Wir befinden uns hier ganz besonders

1) La topographie glaciaire en Auvergne. Annales de Géographie 1896, Vol. V, Taf. VII.

2) Morphologische und glaziale Studien aus Bosnien, der Herzegowina und Montenegro. I. Abh. d. K. K. Geogr. Ges. in Wien 1900, Bd. II, 6. Taf. I—IX. Beobachtungen über die Eiszeit auf der Balkanbalbinsel usw. Zeitschr. f. Gletscherkunde 1908, Bd. III, S. 3.

3) Die Eiszeit in Korsika usw. Abhandl. d. K. K. Geogr. Ges. in Wien 1910, Bd. IX, 1. Taf. VIII u. XI.

4) Die Eiszeit in den Pyrenäen. Mitteil. d. Ver. d. Erdk. zu Leipzig 1883, Taf. IV.

5) The Glaciation of the Uinta Mountains. Journal of Geology 1907, Vol. XV, S. 791.

6) Glaciation in the Telluride Quadrangle, Colorado, Jb. XX, 1912, No. 6, pl. 1.

7) DAVID, HELMS, PITTMANN, Geological notes on Kosciusko with Special Reference to Evidence of Glacial Action. Proc. Linn. Soc. New South Wales 1901, Vol. XXVI, pl. III.

8) The Glacial Geology of Tasmania. Quart. Journ. Geol. Soc. London 1904, Vol. LX, pl. VII.

9) Die eiszeitliche Vergletscherung des Thüringer Waldes. 1913. (Selbstverlag.) Karte.

10) a. a. O. Taf. I. Auch Arch. d. Ver. d. Freunde d. Naturgesch. in Mecklenburg 1905. Bd. LIX. Taf. I.

11) Verh. d. 4. Deutschen Geographentages in München 1884, Taf. 1.

12) Age of Mammals 1910, S. 485.

13) Jahrb. d. Kgl. Preuß. geol. Landesanstalt für 1909, Taf. XVI.

14) Die Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes, 3. Aufl., 1909, Beilage XXIII.

15) L'Afrique occidentale. In: STEINMANN und WILCKENS Handb. d. region. Geologie 1913, Bd. VII, 6a, S. 41.

in den Grenzgebieten, von denen oben (S. 32) die Rede ist und die nicht mehr zur Paläogeographie im strengsten Sinn gehören.

Der Hochstand der Binnenseen während des Diluviums hat zu zahlreichen diluvialen Seekarten Anlaß gegeben. Besonders aus Amerika liegen solche vor; es seien hier nur die bekannten, oft reproduzierten Darstellungen des Bonnevillesees durch GILBERT[1]), des Lahontansees durch RUSSELL[2]) erwähnt. Aus anderen Gebieten seien HULLS[3]) Ghorsee in Syrien und SOKOLOWS[4]) Untersuchungen über den diluvialen Hochstand des kaspischen Meeres noch angeführt. Die von den heutigen abweichenden Küstenlinien sind nur selten übersichtlich dargestellt: u. a. für Nordrußland bei KOKEN[5]), für Westeuropa bei GEINITZ[6]), für Korsika (als Detailbeispiel) bei LUCERNA[7]), für die Landhalbkugel bei MARTONNE[8]) und für die Länder zu beiden Seiten des Atlantischen Ozeans bei GEINITZ[9])".

1) Lake Bonneville. Monographs of the U. S. Geol. Survey 1890, Vol. XXV. (Zahlreiche Karten.)
2) Geological History of Lake Lahontan. Jb. 1885, Vol. XI.
3) The Survey of Western Palestine 1886.
4) Sur l'histoire des steppes près de la Mer Noire depuis l'époque tertiaire. Russ., m. franz. Résumé.) La Pédologie (St. Petersb.) 1904, Tome VI. (Karte.)
5) Die Vorwelt, Taf. II.
6) S. Anm. 9 auf Seite 40.
7) S. Anm. 3 auf Seite 39.
8) S. Anm. 10 auf Seite 36.
9) Die Eiszeit 1904, 7, I. Auch: Wesen und Ursache der Eiszeit (Arch. d. Ver. d. Freunde der Naturgesch. in Mecklenburg 1905, Bd. LIX), 7, I.

III. Die Oberfläche und die Struktur der Erde.

Scheiden wir zunächst von der Paläogeographie die Paläoklimatologie und Paläobiogeographie aus, so bezieht sie sich im wesentlichen auf die Geschichte der Zustände und Veränderungen der Erdoberfläche, besser gesagt: der Erdrinde als solcher. Nicht nur, um diese Geschichte zu verstehen, sondern auch um die Mittel zu ihrer Erforschung überhaupt erst einmal in die Hand zu bekommen, ist die Kenntnis der Zustände und Veränderungen auf der jetzigen Erdoberfläche sowie des Baues des Erdkörpers unerläßlich. Ferner ist unerläßlich die Kenntnis des Erdinnern und das Verhältnis der Kruste zu diesem, soweit man sich bis jetzt darüber eine begründete Vorstellung zu machen vermag.

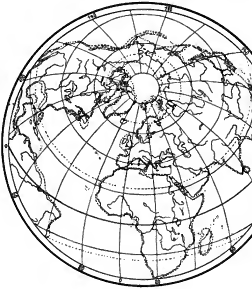
1. Verteilung der Meere und Festländer und ihre Vertikalkonfiguration.

Nach den Berechnungen von Wagner, Bessel u. a. beträgt die Oberflächenausdehnung der Erde 509950000 qkm. Davon entfallen auf die Ozeane und Epikontinentalmeere 365501000 qkm, auf das über Wasser liegende Land ungefähr 144449000 qkm. Es entfallen, in Prozenten ausgedrückt, auf das Meer also ca. 72%, auf das Land 28% der Oberfläche. Die Südhalbkugel hat weniger Land als Wasser, die Nordhalbkugel weniger Wasser als Land; in Zahlen ausgedrückt: die Nordhalbkugel hat etwa 40%, die Südhalbkugel etwa 17% Land. Wir sprechen daher von einer Landhalbkugel (Fig. 7 *A*) und von einer Wasserhalbkugel der Erde (Fig. 7 *B*). Der Pol der ersteren liegt nach Supan[1]) in der Nähe der Loiremündung in 47½° N, 2½° W., der Pol der letzteren liegt östlich von der Südinsel Neuseelands. Danach erhält man den Äquator der ganzen Kugel als eine Linie, welche zwischen den Nikobaren und Sumatra, durch Siam und Annam hindurchgeht, zwischen Hongkong und Futscheu die Südostküste Chinas berührt, die japanischen Inseln schneidet, Nordamerika auf der Landhalbkugel beläßt, an der Küste von Peru entlang geht und das Kap der Guten Hoffnung schneidet. Nach Krümmel[2]) wird das mittlere Verhältnis in der Verteilung von Wasser und

1) Supan, A., Grundzüge der physischen Erdkunde. 5. Aufl., Leipzig 1911. S. 31.
2) Krümmel, O., Handbuch der Ozeanographie, 2. Aufl., Bd. I, Stuttgart 1907, S. 14.

Digitized by Google

Land nur einmal, nämlich zwischen 15° und 20° nördl. Br. erreicht. Sehr zurück treten die Meeresflächen zwischen 20° und 75° nördl. Br. In den tropischen Breiten dagegen nimmt das Wasser drei Viertel des Raumes ein; südlich des 35° südl. Br., wo Afrika und Australien auslaufen, beherrscht das Meer zu neun Zehnteln die ganze Zonenfläche und zwischen 56° und 60° südl. Br. absolut, so daß man, wie KRÜMMEL sagt, in diesen Breiten um die ganze Erde segeln kann, ohne auch nur eine kleine Insel zu sichten. Gegen die Antarktis hin tritt wieder Land hervor und während der Nordpol nach der Karte NANSENS[1]) wohl völlig von tiefem Meere bedeckt ist, liegt der Südpol auf dem Lande. Nicht nur Nord- und Südhemisphäre unterscheiden sich durch die gegensätzliche Verteilung von Land und Meer, sondern auch eine Ost- und Westhemisphäre, die man sich getrennt denken mag durch den



Figur 7 *A*.

Meridian 20° w. Br. und 160° ö. L. v. Gr. Die so markierte östliche, altweltliche Halbkugel wird zu 62,1%, die westliche, neuweltliche zu 81,2% von Meer bedeckt. Aus allen diesen Angaben geht nach KRÜMMEL hervor, daß der W. und S. der Erde die größten Wasserflächen, der O. und N. die ausgedehntesten Landmassen trägt.

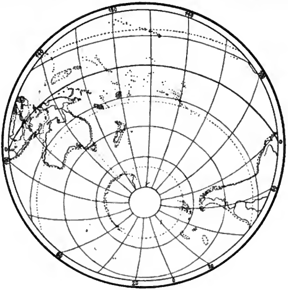
Wir nehmen wie oben schon angegeben, die Oberfläche der Erdkugel zu 509950000 qkm an. Aus den obigen Daten ergibt sich für die über dem Meeresspiegel liegenden Landmassen ein Betrag von rund 140 Mill. qkm. Rechnen wir dazu das nicht berücksichtigte Inselareal mit 4,5 Mill. qkm und das gesamte Schelfareal mit 20 Mill. qkm

1) NANSEN, F., The bathymetrical features of the Northpolar seas etc. In: Norwegian North Polar Exped. 1893—1896. Scient. Results, Bd. IV. London usw. 1904.

— mit anderen Worten etwas anschaulicher ausgedrückt: denken wir uns zu den über dem Meeresspiegel liegenden Kontinentalflächen noch einmal Nordamerika und fast Australien hinzu, dann haben wir im ganzen rund 165 Mill. qkm Kontinentalmasse. Die Ausdehnung der ozeanischen Fläche wurde nun oben mit 365500000 qkm rund angegeben und von ihr müssen wir jetzt den Betrag der Schelfausdehnung noch abziehen, nämlich rund 20 Mill. qkm. (Den Inselflächenbetrag nicht, weil der hier in dieser Zahl schon berücksichtigt ist.) Wir erhalten dann folgende Zahlen[1]):

Ozeanisches Gebiet im strengeren Sinn .	345500000 qkm,
Kontinentalgebiet im strengeren Sinn . .	164500000 qkm.

Die höchste Erhebung der Erde ist der Mount Everest mit 8840 m, die tiefste Senke des Festlandes der Baikalsee. Sein Seespiegel liegt



Figur 7 *B*.

zwar 476 m ü. M.; seine größte Tiefe beträgt – 1610 m, so daß eine absolute Tiefe von über 1100 m bleibt. Der See ist 600 km lang und 80 km breit. Der am Südende liegende Berg, Primorski Chrebet, erhebt sich fast 1900 m ü. M., die Differenz zwischen seiner Gipfelhöhe und der Seetiefe erreicht also fast 3000 m. Der Baikal ist aus dem spitzwinkeligen Zusammenlaufen[2]) zweier Brüche entstanden und die dabei stehengebliebene horstartige Insel Olchon erhebt sich 800 m über das Seeniveau. Also nicht nur am Rande, sondern auch innerhalb des Grabens derartig große Niveaudifferenzen. Solche sind auf dem Festland wohl stets an tektonische Vertikalverschiebungen geknüpft,

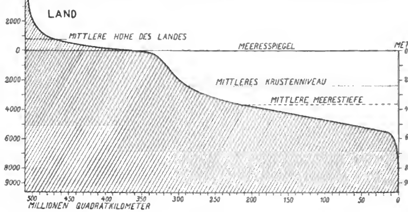
1) Supan, A., a. a. O. S. 36.
2) Suess, E., Das Antlitz der Erde, Bd. III, 1., Leipzig u. Wien 1901, S. 81.

denn auch der vom östlichen Tian Schan auslaufende, bereits auf eine Strecke von über 800 km verfolgte Graben, der küstenfernste der Erde, hat an einer Stelle eine Tiefe von –169 m[1]). Seit langem bekannt ist die an den palästinensisch-afrikanischen Grabenbruch geknüpfte Senke des Toten Meeres, dessen Spiegel – 394 Höhe hat, seine Sohle liegt etwa –800 m tief.

Die mittlere Höhe der Kontinente beträgt etwa 700 m; die mittlere Erhebung der Nordhemisphäre nach v. Tillo 713 m, die der Südhemisphäre 634 m.

Die größte bis jetzt gelotete Tiefe der Ozeane liegt westlich von den Philippinen im Stillen Ozean etwa unter 12° nördl. Br. und 147° östl. L. v. Gr.; sie beträgt 9788 m. Die mittlere Tiefe der Ozeane übertrifft die der Kontinente und beträgt etwa 3650 m; die von den verschiedenen Autoren angegebenen Zahlen weichen mehr voneinander ab als bei den Berechnungen der mittleren Festlandshöhe.

Daraus ergibt sich das beifolgende, aus Krümmel entnommene hypsographische Schema (Fig. 8). Als Endpunkte links oben und rechts unten sind gedacht die gemessene höchste Land-



Figur 8.

erhebung bzw. Meerestiefe. Die Kontinentaltafel rechnet man bis zu dem relativ rasch erfolgenden Absturz bei 200 m unter dem Meeresspiegel; von da bis etwa in –3000 m liegt der Kontinentalabfall, dann folgt bis –5500 m die Tiefseeregion, der sich bis über –9000 m relativ schroffe Senken anschließen. Die absolute Ausdehnung der einzelnen Areale geht aus den an der Basis obiger Kurve beigeschriebenen Zahlen hervor, für die prozentuale Verteilung gibt Supan[2]) folgende Tabelle:

1) Nach freundl. Mitteilung von Dr. K. Leuchs.
2) Supan, A., a. a. O. S. 47.

	nach Penck	nach Wagner
Kontinentaltafel bis — 200 m	35,3	33,1
Kontinentalabfall von — 200 m bis — 3000 m	13,2	15,0
Tiefenregion unter 3000 m	51,5	51,9

Hierbei ist aber das antarktische, nach den bisherigen Ermittelungen sehr hohe Land noch nicht mitgerechnet. Seine Ausdehnung kommt approximativ einer Fläche gleich, wie sie von Australien, Neuguinea, Borneo und Sumatra eingenommen wird, und wenn wir das berücksichtigen, wird sich vermutlich späterhin ergeben, daß prozentual die Erhebungen denselben Flächenraum auf der Erdkruste einnehmen, wie die Senken, wenn wir das Idealniveau bis gegen 3000 m Tiefe berechnen, wo der Abfall zu Ende ist. Denken wir uns nämlich das Wasser von der Idealerde weggenommen und uns auf dem idealen abyssischen Ozeanboden etwa bei — 4—5000 m stehend, dann wird sich für unser Auge der Kontinentalklotz eben dort aus der Erdkruste herauszuheben beginnen, wo mit etwa 3000 m die Böschung beginnt. Unter zukünftiger Mitberücksichtigung der Antarktis wird sich das mittlere Krustenniveau noch etwas nach oben verschieben, aber minimal; vielleicht gleichen sich auch die Tiefen des polaren Meeres mit den Höhen des antarktischen Landes aus. Jedenfalls können wir sagen, daß die Erhebungen, wenn wir sie von rund — 3000 m nach aufwärts rechnen, etwa die gleiche Fläche einnehmen, wie die Senken.

Hier stellt die Paläogeographie ihre erste und Hauptfrage: ob diese Verteilung der Land- und Meeresflächen immer die gleiche war oder sich wesentlich oder unwesentlich geändert hat? Wenn wir Karten der Land- und Meeresverteilung in den verschiedenen Erdzeitaltern ansehen, dann bemerken wir, besonders in der paläozoischen Zeit, eine Anreicherung des Landes auf der Südhemisphäre. Die Erde macht in jenen Perioden keineswegs den Eindruck, als ob das Wasser vorwiegend auf die eine, das Land auf die andere Halbkugel verteilt gewesen wäre. Was uns aber mangelt, um über die Land- und Wasserverteilung in früheren Zeitaltern etwas Endgültiges auszusagen, das ist vor allem die genauere Kenntnis über die Vergangenheit des großen Areales des Stillen Ozeans. Noch heute ist die Frage nicht entschieden, ob und in welcher Ausdehnung es jemals Landmassen trug. Ferner haben wir noch gar kein bestimmtes Urteil, inwieweit das Meerwasser auf der früheren Erdoberfläche sich auf richtige Ozeanbecken, den heutigen entsprechend verteilte und inwieweit es nur epikontinentale Meere bildete. Hier liegt nämlich ein prinzipieller Unterschied, den wir bisher noch nicht berührt haben, der aber für alles Folgende von größter Bedeutung ist und dessen Konsequenzen die wichtigsten Grundlagen der Paläogeographie bilden.

Dieser wichtige, zwischen den kontinentalen und ozeanischen Gebieten bestehende und in der obigen schematischen Niveaukurve nicht zum Ausdruck kommende Gegensatz besteht in der durch Pendelbeobachtungen ermittelten Tatsache, daß im großen und ganzen die Materie der ozeanischen Böden spezifisch schwerer sein muß, als die

Digitized by Google

der Kontinente. Wäre sie das nämlich nicht, dann müßte bei gleicher Entfernung vom Erdmittelpunkte derselbe Gegenstand über dem Ozean weniger wiegen als über dem Lande, weil ja die ozeanischen Becken ein Minus an Gesteinsmaterial und an dessen Stelle das spezifisch leichtere Wasser enthalten. Dennoch ist das Gewicht des Pendels hier wie dort im allgemeinen das gleiche.

Es besteht somit ein Gewichtsausgleich zwischen kontinentalen und ozeanischen Gebieten, den wir als isostatischen Ausgleich bezeichnen und der — nur in speziellen Fällen nicht vorhanden — uns zu der Annahme zwingt, daß spezifisch schwerere, dichtere Gesteine den Boden der Ozeane bilden. Sobald man aber dieses notwendige Postulat der Geophysik anerkennt, ist nicht abzusehen, wie jemals Kontinente zu Ozeanen und Ozeane zu Kontinenten werden oder geworden sein sollten. Da uns aber unsere paläogeographischen Karten doch die Annahme eines weitgehenden Wechsels zwischen beiden geradezu aufzwingen, so liegt hier ein Problem, das zu den wichtigsten der Paläogeographie gehört und das seit langem als die Frage nach der Permanenz der Kontinente und Ozeane bekannt und behandelt worden ist. Es wird uns späterhin noch beschäftigen, wenn wir andere Grundlagen unseres paläogeographischen Wissens und Forschens gewonnen haben werden.

Damit haben wir jetzt eine Möglichkeit, auch zweierlei Arten von Meeren auf der Erdoberfläche zu unterscheiden, die wir vorhin schon als ozeanische und epikontinentale bezeichnet haben. Unter den ersteren verstehen wir alle jene Meere, deren Boden erfahrungsgemäß aus schwererem, nichtkontinentalem Gestein besteht, unter den letzteren alle marinen Flächen, die über kontinentales Gestein ausgebreitet oder in solches eingesenkt sind. Zu jenen gehören, um nur Beispiele zu nennen, der Atlantische oder Pazifische Ozean, zu diesen die Nordsee und Hudsonbai. Suess will unterschieden wissen zwischen Transgressions- und Epikontinentalmeeren. Die ersteren gehen nach ihm aus den Lageveränderungen der Hydrosphäre hervor, letztere aus solchen der Lithosphäre[1]. Da aber beide in unserem Sinne epikontinentale Meere sind, ebenso wie jene Teile der echt ozeanischen Wasserflächen, die auf den schmalen Kontinentalrand übergreifen, so hat die Unterscheidung hier keinen Wert.

Die Grenze von echt ozeanischem Gebiet und Kontinentalgebiet fällt jedenfalls, wie man sieht, keineswegs mit den Grenzen von Land und Meer schlechthin zusammen. Will man also die Frage nach dem Wechsel der vorweltlichen Länder und Meere stellen, dann muß man wohl unterscheiden einerseits zwischen dem Schwanken der Grenzen von Trockenem und Flüssigem, andererseits zwischen dem Wechsel von echt ozeanischen und echt kontinentalen Gebieten ohne Rücksicht auf die Meer- und Landverteilung im äußerlichen Sinn. Dadurch bekommt das vorhin erwähnte Permanenzproblem ein ganz anderes Gesicht.

Es ist in diesem Zusammenhang wichtig, sich über die wahre, nicht nur scheinbare Ausdehnung der Kontinentalgebiete auf der heutigen Erdoberfläche Rechenschaft zu geben.

Betrachten wir eine Tiefenkarte der Meere, so fällt uns auf, daß sich längs der Küsten ein bald breiteres, bald schmäleres Band sehr

1) Suess, E., Das Antlitz der Erde, Bd. III, 2, Wien 1909, S. 693.

Digitized by Google

seichter, durchschnittlich nur bis 200 m reichender Meerestiefe hinzieht, der sogenannte Schelfrand. Er ist auf den Hemisphärenkarten (Fig. 7, S. 42, 43) durch die gestrichelten Linien wiedergegeben. Besondere Breite erreicht er zwischen Alaska und dem benachbarten Teile von Sibirien, wie er sich überhaupt nördlich von Sibirien sehr weit, nämlich durchschnittlich 6 Breitengrade, ausdehnt. Dieser Schelfgürtel setzt sich westwärts, mit kurzer Unterbrechung durch Skandinavien, fort und umfaßt den Bottnischen Busen, die Ostsee und Nordsee und dehnt sich westlich von England und Nordfrankreich noch einige hundert Kilometer in den Atlantik hinaus. Auch gegenüber im Norden und Osten von Nordamerika ist ähnliches der Fall. Wie im Norden von Sibirien, ist auch nördlich der arktisch-amerikanischen Inseln ein breiter Schelfrand vorhanden. Ebenso, wie auf der Osthalbkugel Novaja-Semlja zum asiatischen, gehören auf der Westhalbkugel die arktisch-amerikanischen Inseln zum nordamerikanischen Kontinent, mit dem auch Grönland von Norden her zusammenhängt. Das ganze Fox-Becken und die Hudsonbai sind, analog dem Bottnischen Busen und der Ost- und Nordsee, nicht über 200 m tiefe Überschwemmungen der Kontinentalmasse. Im Osten von Nordamerika, von Neufundland bis Florida, liegt ein südöstlich von jener Insel und von Neuschottland besonders ausgedehnter Schelfrand, dem von England und Nordfrankreich vergleichbar. Während im mexikanischen Golf westlich von Florida und nördlich von Yucatan, ebenso wie um die Bahama-Inseln herum und an der Ostküste von Honduras ein breiter Schelfrand existiert, verschwindet er so gut wie ganz an der Ostküste von Nordmexiko, am Jsthmus von Tehuantepek und von Panama. Eine größere Breite zeigt er erst wieder längs der Nordwestküste von Südamerika, wo die großen Ströme Orinoko und Amazonas münden und dann wieder, an Breite etwas zunehmend, südwärts von Bahia aus, die Falklands-Inseln mit umfassend; dort erreicht er, in westlicher Ausdehnung gemessen, von dem Kap Virgenes am Eingang der Magellanstraße, eine Breite von 800 km. Auf der entgegengesetzten Seite des Atlantik, von der Nordküste Spaniens ab bis Kapstadt ist der Schelf im ganzen außerordentlich schmal und in keiner Weise den nordischen Rändern vergleichbar. Gewisse Homologien, wie seine besondere Breite südlich des Kap der Guten Hoffnung diesseits und des Feuerlandes jenseits, ferner die vor der Sierra Leone und vor Liberia diesseits und vor der Amazonasmündung jenseits sind immerhin bemerkenswert. An dem amerikanischen Rande des Stillen Ozeans ist der Schelf durchweg außerordentlich schmal, dagegen an der ostasiatischen Seite und in Niederländisch-Indien, sowie zwischen Australien und Neuguinea ungeheuer ausgedehnt. Zwar gehört der Ochotskische Meerbusen nur an seinen Rändern noch zum Schelf, aber das Gelbe Meer und von da ein durchschnittlich 450 km breiter über die Insel Formosa bis zum Golf von Tonking, die Insel Hainan noch mit umfassender Streifen bildet in Ostasien die submarine östliche Verlängerung des Kontinentes. Von Hinterindien aus aber zieht in der ganzen Breite dieser Halbinsel, den Golf von Siam, Sumatra mit Borneo und Java verbindend, der Schelf südwärts, um dann — nur unterbrochen durch die tieferen Regionen der Molukken-, Banda- und Floressee — wieder Nordwest- und Nordaustralien samt dem Golf von Carpentaria mit Neuguinea zu verbinden. Ein Schelfstreifen vereinigt auch Borneo nordnordost-

Digitized by Google

wärts mit den Philippinen über die Palawan- und Suluinseln und auch die Karolinen sind die herausragenden Teile einer kleineren, allerdings derzeit völlig isolierten Festlandsmasse. Der Schelf um Neuseeland ist unbedeutend; er verbindet die beiden Inseln zu einer Einheit. Dies ist auch mit Australien und Tasmanien der Fall, wodurch eine kontinentale Südzuspitzung entsteht.

Die Küsten des indischen Ozeans zeigen alle nur ganz schmale Schelfränder, nicht einmal Ostafrika und Madagaskar hängen durch einen solchen zusammen, auch das Rote Meer zeigt in der medianen Längsachse größere Tiefen und nur der persische Golf liegt noch auf dem Kontinentalschelf.

Über die geomorphologische Bedeutung bzw. die Genesis des Schelfes gehen, soweit man sich mit der Frage bisher überhaupt befaßt hat, die Anschauungen noch ziemlich auseinander. Andrée gab vor kurzem eine Übersicht über die bestehenden Theorien[1]. Danach erklären manche Forscher jene Kontinentgesimse durch Aufschüttungen vom Festland her, was nur für einen Teil derselben, z. B. die polaren, zutreffen dürfte, wo glaziale Ablagerungen in großem Maßstabe mitwirkten. Andere erklärten sie durch die bis in 200 m Tiefe reichende Brandungswirkung. Philippi glaubt, die tiefe Lage antarktischer Schelfflächen auf Abhobelung durch diluviale Eismassen zurückführen zu können, welche bis 800 m Tiefe im Meere den Boden abhobeln können. Von vielen anderen Schelfen aber wissen wir hinwiederum, daß sie erst kürzlich vom Meer eingenommene Landflächen sind[2]. Dies führt Krümmel z. B. näher für den südwestlichen Nordsee- und Kanalschelf aus, welch letzterer das Fundament einer marin abgetragenen Landbrücke zwischen England und dem Kontinent ist. Westwärts vom Kanal bei England sind die Kämme mancher Schelfbänke mit Marinkonchylien der Strandfauna bedeckt, die heute nicht mehr in diesen Tiefen leben können. Und da die Streichrichtung dieser Bänke dieselbe ist, wie die der Gebirgsfalten in den südwestlichen Halbinseln Irlands, in Cornwall und der Bretagne, so sind sie nach Krümmel vermutlich die aus ihrer früheren Umgebung durch marine Abrasion herauspräparierten härteren Gesteinsfalten des die genannten Halbinseln beherrschenden armorikanischen Geb rges. Schließlich führte man die Entstehung des Schelfes auf tektonische Bewegungen zurück. Für letzteres sprechen nicht nur ertrunkene Flußtäler, sondern auch Parallelismen des Schelfverlaufes mit großen tektonischen Linien des unmittelbar anschließenden Festlandsteiles. So zeigte mir Herr Dr. C. Lebling, mit der freundlichen Erlaubnis, hier einstweilen Gebrauch davon machen zu dürfen, eine von ihm entworfene Karte der Tektonik der östlichen Vereinigten Staaten, aus der man unmittelbar den Parallelismus des Schelfrandes mit einer großen, fast 2000 km langen, im Innern des Landes von Atlanta im Süden über Harrisburg und New-York nach Connecticut verlaufenden tektonischen Linie erkennt. Gleiches mag für das nördliche Ostasien gelten und in dieser Beziehung den bekannten Gegensatz des pazifischen und atlantischen Küstentypus (vgl. den Abschnitt über geographische Homologien) etwas mildern. Im Kapitel über das Permanenzproblem wird ein weiteres

1) Andrée, K., Probleme der Ozeanographie in ihrer Bedeutung für die Geologie. Naturwiss. Wochenschr., Bd. XXVII (N. F. XI.), Jena 1912, S. 243, 245.

2) Krümmel, O., Handbuch der Ozeanographie, 2. Aufl., Bd. I, Stuttgart 1907, S. 107—110.

Moment angeführt, das wieder eine andere Entstehung des Schelfes für das nördliche Südamerika folgern läßt, und so dürfte ANDRÉE recht behalten, wenn er meint, daß wir uns daran gewöhnen müssen, verschiedene Vorgänge als bestimmend für die Entstehung der Schelfe anzunehmen.

Die ozeanischen Bodenformen sind wesentlich ausgeglichener und gerundeter als die des festen Landes. Auf den Landflächen nehmen größere Höhen nur den allergeringsten Raum ein, in den Ozeanen herrschen die tiefen breiten Senken vor und ihre schroffen Höhenzüge sind Vulkane oder Korallenriffe oder Inseln aus festländischem Material. Die Ozeane sind im ganzen wesentlich tiefer als die Länder hoch. Die Flachheit jener und ihr wenig entwickeltes Relief kann man ja geneigt sein, auf die dort so gut wie völlig fehlende Erosion, die offenbar fehlende Faltengebirgsbildung — wo eine solche zu bestehen scheint, handelt es sich um versunkene festländische — und auf die ausgleichende Wirkung der ununterbrochenen Sedimentauflagerung zurückzuführen. Wir haben ja, könnte man geltend machen, auch für die Kontinentalflächen oder wenigstens für große Teile derselben, allen Grund zu der Annahme, daß es Zeiten ganz oder nahezu vollkommener Ausgleichung der Reliefgegensätze gab, wo die Gebirgsbildung völlig ruhte oder nur ganz untergeordnete Bewegungen konstatierbar sind. Da mögen die Länder ähnliche Wellenform, wie heute die Ozeanböden, besessen haben. Aber es ist sicher, daß dies nur eine ganz äußerliche Analogie ist. Denn der Peneplaincharakter der Länder geht gerade auf Erosion und Denudation zurück, die für die Ozeanböden nicht in Betracht kommen kann und außerdem haben wir auch sonst, wie die späteren Ausführungen noch zeigen werden, Grund genug, Ozeanböden und Festlandsareale als ganz heterogene Teile der Erdkruste anzusehen, deren Erscheinungsformen man nicht ohne weiteres wird gleichsetzen dürfen. Man kann sich den prinzipiellen Gegensatz von ozeanischem und kontinentalem Krustengebiet gar nicht scharf genug einprägen; beide sind heterogene Elemente der Erdkruste.

Die auf S. 44 wiedergegebene Kurve läßt, wenn man sie als unmittelbares Abbild konkreter Verhältnisse ansehen wollte, den Eindruck aufkommen, als ob die größten Meerestiefen auch in entsprechend großer Entfernung vom Kontinentalklotz wegliegen. Nichts ist falscher als diese Annahme. Jede Tiefenkarte der Meere zeigt uns auf den ersten Blick, daß gerade die meisten abyssischen Senken, zumal jene, wo die größten Tiefen gelotet wurden, in relativ allernächster Nähe der Landmassen und untermeerischen Rücken, die als Inseln herausragen, liegen. So unmittelbar westlich von Haiti, an der Westküste Südamerikas unter 18° und 26° südl. Br., unmittelbar östlich von den Philippinen, von Nordjapan, westlich von den Tonga-Inseln. Wo solche schroffen Gegensätze in der Konfiguration der ozeanischen Erdkruste auftreten, können wir wirklich von Senken, von Gräben, ja von Löchern reden. Dagegen ist der Ausdruck Senken für die weiten, oberhalb 6000 m liegenden ozeanischen Böden nicht unbedingt zutreffend. Berücksichtigen wir nämlich die Ausdehnung der von 2000 bis 6000 m tiefen Regionen und vergleichen wir sie mit der Gesamtoberfläche der Erde, so erscheinen sie uns nicht als konkave, sondern als konvexe Teile der Kugelfläche. Einerlei also, ob wir von Meeressenken oder Kontinentalerhebungen reden: auf alle Fälle müssen wir diese entgegengesetzten Elemente der Erdrinde als Kalotten

von Kugeln mit verschiedenem Radius ansehen, die nicht nur formal, sondern auch materiell gegeneinander abgesetzt sind.

Rothpletz hat seinerzeit[1]) aus tektonischen Erwägungen die Kontinente aufgefaßt als Kugelgewölbe mit kürzerem Radius, eingeschaltet in das Kugelgewölbe der Erde. Wären nämlich die Kontinente nur aufgesetzte Massen, sagt er, so könnten sie keine durch tangentiale Spannungen der Erdrinde gefalteten Gebirge an ihrer Oberfläche zeigen, weil die über dem Kugelniveau liegende tote Last von dem in diesem Niveau aktiven seitlichen Druck nicht erfaßt würde; sie müssen demnach richtige eingeschaltete Gewölbe sein.

Wenn wir die Gebirgsbildung auf der Erde aber nicht als entstanden aus tangentialen Krustenspannungen anerkennen (vgl. das Kapitel über die Gebirgsbildung), dann fällt auch die Nötigung zur Annahme dieser Hypothese fort und wir können uns fragen, ob die Kontinentalkalotten nicht am Ende Ausschnitte von Kugeln mit längerem Radius sind als es die Idealkugel des mittleren Krustenniveaus ist. Denn je weiter ein zur Erdkugel konzentrisches Gewölbe vom Erdmittelpunkte entfernt ist, umso länger sein Radius, umso flacher seine Oberfläche. Es wäre daher von vornherein anzunehmen, daß die Oberfläche der Kontinente flacheren, die Oberfläche des Meeresgrundes dagegen schärfer gekrümmter Kugeln entsprächen, weil diese dem Erdmittelpunkt näher, jene ihm ferner liegen.

Wir können das Bisherige zunächst in den Satz kleiden: Die ozeanischen und kontinentalen Krustenteile der Erde verhalten sich im großen und ganzen wie Kugelkalotten von verschiedenem Radius und verschiedener stofflicher Konsistenz. Auch bei dem weitgehenden Wechsel der Land- und Wassergrenzen während der historisch-geologischen Zeit ist angesichts dessen ein wirklicher Lagewechsel ozeanischer und kontinentaler Krustenteile unwahrscheinlich. Ob die Lage der beiden Kugelkalotten unbedingt als konzentrisch zu der durch das mittlere Krustenniveau veranschaulichten Idealkugel anzusehen ist oder nicht, mag hier noch unentschieden bleiben.

Nicht nur die horizontale Verteilung und Begrenzung der Landflächen und wohl auch der Kontinentalklötze, auch die Differenz zwischen Höhen und Tiefen war in stetem Wechsel auf der vorweltlichen Erdoberfläche anders geartet. Inwieweit das auf den Unterschied und das relative Verhältnis von Ozeangebieten und Kontinentalmassen zutrifft, läßt sich bei der derzeitigen Ungeklärtheit der Grundbegriffe über das Werden der ozeanischen Becken noch nicht sagen. Wohl aber wissen wir z. B., daß die höchsten Erhebungen der heutigen Erdoberfläche aus geologisch sehr junger Zeit datieren und daß zuvor im Mesozoikum an deren Stelle Meeresgebiete lagen, aus deren Sedimenten die Hochgebirge der Jetzterde hauptsächlich bestehen. Ebenso wissen wir, daß die großen Senken der Festländer, wie der Baikalsee und das Tote Meer, ihre Entstehung sehr jungen tektonischen Einbrüchen verdanken und daß gerade der Baikalsee einen Einbruch in einem paläozoischen Faltengebirgsgebiet bedeutet, woraus die durch diesen Einbruch geschaffene Höhendifferenz zwischen früher und jetzt deutlich ins Licht tritt. Ferner wissen wir, daß Zeiten intensiver Gebirgsbildung mit solchen relativer Ruhe abwechselten und daß die

1) Rothpletz, A., Ein geologischer Querschnitt durch die Ostalpen, Stuttgart 1894, S. 203—205.

Digitized by Google

ersteren ein unruhiges, stark differenziertes Erdrelief schufen, während die letzteren eine Abtragung der zuvor gebildeten großen Niveauunterschiede erlebten, wobei sich die Oberfläche der Länder dem Peneplaincharakter näherte.

Die derzeitige Gestaltung der Erdoberfläche ist somit weder etwas Dauerndes, noch in der Form, wie sie existiert, etwas streng Notwendiges. Die sie ausgestaltenden und verändernden Faktoren sind einerseits die geotektonischen Veränderungen, deren Ursachen uns gänzlich unbekannt und nur vermutungsweise zugänglich sind, andererseits die durch den Wasserkreislauf, die Verwitterung und den Wind hervorgerufenen Zerstörungen, Ausfurchungen, Abtragungen und Materialaufhäufungen. Jene streben letzten Endes eine Differenzierung, diese eine Ausgleichung des Vertikalreliefs der Erdoberfläche an und beide in ihrem Gegeneinanderarbeiten bewirken die Horizontal- und Vertikalveränderungen des Erdantlitzes im Lauf der Erdgeschichte.

Aus dieser Erkenntnis lassen sich leicht einige allgemeine Gesichtspunkte ableiten über bestimmte Formen der Ablagerungsprodukte auf der Erdoberfläche während früherer Zeiten. So z. B. der, daß reichliche und vorwiegende Ablagerung von sehr grobem detritogenem Material auf Zeiten bzw. Regionen deutet, in denen eine reiche Gliederung und ausgesprochene Differenzierung im Relief der Länder vorhanden war, welche der Erosion, den zerstörenden Atmosphärilien reichlich Arbeitsgelegenheit bot. Umgekehrt werden Formationen mit geringmächtigen, feinkörnigen Sedimenten geringe Höhendifferenzierung innerhalb der Länder oder zwischen Land und Meer anzeigen. Das gilt insbesondere für einzelne Regionen der Erde, wo diese Fälle eher praktisch zur Geltung kommen mögen, als auf der ganzen Erde gleichzeitig. Verlegungen des Meeresspiegels, sei es durch Hebung eines Landes oder durch Senkung der Wasserfläche aus lokaler oder universeller Ursache wird, worauf Barrell aufmerksam macht, auch entwickelte Deltabildungen mit sich bringen, weil ein Delta der Ausdruck der von der Erosion und Denudation zu bewirkenden Ausgleichsbestrebungen von Landhöhe und Meeresspiegelniveau ist.

Die Biosphäre, das Tier- und Pflanzenleben, ist verteilt auf dieser ewig wechselnden Erdoberfläche, auf dem Land und im Meer. Seine Ausdehnung hängt ab vom Raume, der ihm zur Verfügung steht und von den klimatischen und sonstigen Lebensbedingungen, die es findet. Je nachdem zeigt es als Ganzes oder in seinen einzelnen Arten und Formen gewisse Eigentümlichkeiten, Üppigkeit oder Armseligkeit, weitere oder geringere Verbreitung. Auch die Intensität und der Wechsel der Ablagerungen ist von der klimatisch bedingten Denudation jeweils abhängig, nicht minder, wie von der orographischen Differenziertheit.

Aus diesen Zusammenhängen gewinnen wir die Möglichkeit, vom einen auf das andere zu schließen. Da uns Ablagerungen als Produkte bestimmt gearteter Abtragung und in diesen die fossilen Reste vorweltlicher Tiere und Pflanzen — in ihrer Verbreitung und ihrem Habitus bestimmt durch Klima, Land- und Meeresverteilung — erhalten sind, so gibt uns beides die Möglichkeit, daraus die frühere Erdoberfläche und die auf ihr abwechselnd herrschenden Lebensbedingungen zu erschließen. Bilden somit einerseits die Definitionen

der Begriffe: Erdkruste, Ozeane, Kontinente, Gebirge, ferner die Erörterungen über ihre Veränderungen und Entstehung, die mechanische Deutung ihrer Formgestaltung die Grundlagen, so bildet andrerseits die Verwertung der Ablagerungen und ihres Fossilinhaltes, sowie die der tiergeographischen Verhältnisse zum Zweck der Rekonstruktion früherer erdgeschichtlicher Zustände der Erdoberfläche die Methoden der Paläogeographie. In dieser Reihenfolge wollen wir das Material nun behandeln.

2. Gesetzmäßigkeiten im Bau der Erdkruste.

Es gibt im Antlitz der Erde gewisse Gesetzmäßigkeiten. Dazu gehört vor allem die Zuspitzung der Kontinente nach Süden. Südamerika und Afrika, Grönland und Vorderindien, Australien-Tasmanien, Skandinavien, Florida, Kamtschatka zeigen diese Eigentümlichkeit, die im kleinen auch bei vielen Halbinseln des Mittelmeeres so deutlich wiederkehrt. Die Nordränder der Kontinente dagegen zeigen, mit Ausnahme der nordöstlichen Halbinsel Australiens, welche hierin dem südpolaren Westland homolog ist, diese Eigenschaft nicht. Man nennt derartige gleichsinnige Umrißformen „geographische Homologien."

Von ihnen gibt es auch noch andere Arten. So z. B. die merkwürdige Formengleichheit von Italien und Neuseeland, die um so auffallender ist, als beide Länder auch ähnlich von einem Faltengebirge in ihrer Längserstreckung durchzogen sind, ferner fast genau antipodisch und dabei spiegelbildlich in derselben Orientierung zu den Polen liegen; oder die Ähnlichkeit des Umrisses von Nordamerika und im kleinen von Hinterindien, wobei die Analogie ihrer im wesentlichen nordsüdlich gerichteten westlichen Gebirgszüge und das Auftreten eines großen Stromes in ungefähr gleicher Richtung auffällt. Auch die Ähnlichkeit der Umrißformen der Molukkeninseln Celebes und Halmahera wäre hier zu nennen, die Suess ergänzt durch den paläogeographisch so überaus interessanten Nachweis, daß auch Borneo, obwohl es äußerlich einen ganz anderen Verlauf seiner Küstenlinien besitzt, den beiden vorgenannten analog gebaut ist[1]). Im Innern von Borneo ist nämlich ein aus Vulkangestein, krystallinem Schiefer und anderen alten Felsarten zusammengesetztes Gebirge vorhanden, in welches Buchten tertiärer Ablagerungen hineinreichen. Denkt man sich diese meerbedeckt, so tritt die Homologie der Höhenzüge und damit der Umrisse von Borneo mit jenen von Celebes und Halmahera deutlich hervor.

Europa läuft in drei Südzipfel aus, desgleichen Asien; nördlich von diesen Ausläufern zieht sich ostwestlich ein Faltengebirge hin. Weniger auffallend, aber trotzdem deutlich vorhanden, ist ein zugespitztes Auslaufen der Kontinente nach Osten, so das nördliche Sibirien in die Tschuktschen-Halbinsel, Nordamerika in den Neufundland-Schelf, Südamerika in die Halbinsel Pernambuco, Afrika in die Somalihalbinsel. Eine weitere Homologie zeigen in ganz auffallender Weise die Küsten- bzw. Schelflinien von Westeuropa und Afrika, die mit ihren Kurven und Kanten in die gegenüberliegenden Küstenlinien beider Amerika hineinpassen; die S-förmige Schwingung, welche sich

1) Suess, E., Das Antlitz der Erde, Bd. II, Wien 1888, S. 209/210.

darin kundgibt, ist aufs deutlichste nachgeahmt in einer nordsüdlich gerichteten medianen submarinen Erhebung des atlantischen Ozeans und im Verlauf der südamerikanischen Anden. Sind das Zufälligkeiten oder drückt sich in ihnen eine gesetzmäßige Struktur der Erdkruste aus und worin besteht diese allenfalls vorhandene Gesetzmäßigkeit?

Wir kennen noch andere Homologien. Jeder sich meridional erstreckende Kontinent beginnt im Norden mit einem alten archäischen Block: Nordamerika mit der alten kanadischen Masse, Europa-Afrika mit der finno-skandinavischen und Asien-Australien mit dem mandschurischen Block. Es sind drei archäische krystalline Komplexe. Südlich vom ersteren erstreckt sich der junge Gebirgsbogen der Antillen und von Venezuela, südlich vom zweiten der alpine Bogen, südlich vom dritten der Himalaya. Zwischen diesen jungen Gebirgen und den uralten Massiven ziehen sich paläozoische Gebirgsfalten hin: in Nordamerika die Appallachen und Alleghanies, in Europa die armorikanisch-variszischen Ketten und in Asien ebenso die etwa gleichalten Ketten des Tianschan, Kuenlun usw. Und als südlichen Abschluß in allen drei Weltgegenden wieder archäische Massive: das brasilische, das afrikanische und das indisch-australische.

Unter „tektonischer Homologie" versteht Suess die Erscheinung, daß in verschiedenen Regionen der Erde ein gleichartiges Herantreten von Gebirgszügen bzw. Faltenwellen an ungefaltete Regionen oder alte, sich starr verhaltende Horste statthat. So dringen nach seiner Darstellung[1]) sich scharende, d. h. in sehr spitzem Winkel aufeinander zu streichende Gebirgsbogen von NW., N. und NO. sowohl gegen den nordpazifischen Ozean, wie gegen das indische Tafelland vor, so daß zwischen beiden Regionen „eine ganz außerordentliche tektonische Homologie" besteht.

Eine weitere Art teilweise bemerkenswerter Homologien hat Deecke angegeben[2]). Gewisse Wiederholungen in der Entfernung zwischen tektonisch oder geomorphologisch markanteren Punkten der Erdoberfläche — Abstand alter Gebirgshorste, Abstand von Küstenvorsprüngen, von Flußtalknickungen u. dgl. — führten ihn zu dem Versuch, auf dem Globus und auf nicht zu sehr verzerrten Karten in großem Maßstab (internat. geol. Karte von Europa) mit bestimmten Maß- und Winkelgrößen ein Netz aufeinander bezüglicher Punkte im angegebenen Sinn zu entwerfen. So nahm er, um nur eines der von ihm gegebenen Beispiele anzuführen, die tektonisch begrenzte Breite der Monte Gargano-Halbinsel Italiens in den Zirkel und fand, daß ein mit dieser Breite auf Pauspapier hergestelltes Liniensystem, wenn man es parallel zur Südküste der genannten Halbinsel legt, ein überraschendes Zusammenfallen vieler tektonisch wichtiger Punkte Süditaliens mit diesem Liniensystem zeigt. So liegen — ich referiere zunächst nur — in der Verlängerung der Monte Gargano-Scholle gegen Westen, von denselben Linien umfaßt, die beiden großen vulkanischen Zentren des Vesuv und der phlegräischen Felder. Auf die nächste Linie fällt der Vulkan des Monte Vulture und auf eine weitere Linie

1) Suess, E., ibid., Bd. I, Prag u. Leipzig 1885, S. 591.

2) Deecke, W., Ein Grundgesetz der Gebirgsbildung? Neues Jahrb. f. Mineralogie usw., Stuttgart 1908, Bd. I, S. 119—133; Bd. II, S. 32—48; S. 55—73. Ich bin Herrn Prof. Deecke sehr zu Dank verbunden für die Bereitwilligkeit, mit der er mir seine Karten und Schemata zur selbständigen Nachprüfung leihweise überließ.

der Ätna. Durch den Endpunkt des südöstlichen Sizilien, das Kap Passaro, geht wieder eine solche Linie hindurch, und man kann nach Deecke dieses Liniensystem mit den hervortretendsten topographischen Elementen der benachbarten dalmatinisch-albanischen Küste und denen des tunesischen Ufers ohne Zwang in Verbindung bringen. Das am Monte Gargano gewonnene Maß vermochte er zu übertragen auf das nördliche Deutschland, auf das Gebiet des rheinischen Schiefergebirges, auf den Rheintalgraben. Zahllose andere derartige Systeme weist Deecke in anderen Ländern auf gleiche Weise an dort hervortretenden Massen nach und er findet u. a. auch, daß fast alle ein- und ausspringenden Winkel auf der ganzen Erde sich zusammensetzen lassen aus Winkeln, die man gewinnt, wenn man die Streichrichtung des alten rheinischen, des variszischen und des herzynischen Gebirgssystems bis zum Schnittpunkt miteinander vereinigt. Er verfertigte sich einen Drahtkreis vom Durchmesser seines Globus. Wenn er diesen größten Kreis auflegte, so war er damit in der Lage, „die Zusammengehörigkeit der verschiedenen Küstenlinien zu einem und demselben größten Kreise zu erkennen“. Legte er ihn beispielsweise längs der Nordküste Australiens an, so fiel er in das variszische Gebirgsstreichen bei uns, er traf hier direkt das Erzgebirge, welches zu dem variszischen Gebirgssystem gehört, und so sei „auf diese Weise unzweideutig klar zu machen, daß diese Küste in das variszische System hineinfällt“. Ebenso könne man zeigen, daß die Längsrichtung des Roten Meeres dem herzynischen Gebirgssystem entspreche und daß dieser große Graben nichts anderes sei als eine „Fortsetzung“ zahlreicher mitteleuropäischer Gräben usw. Aus diesen und vielen anderen derartigen Versuchen zieht Deecke den Schluß, daß es sich bei den verschiedenen Gebirgssystemen unzweifelhaft um ein Zusammenfallen mit größten Kreisen der Erde handle, die sich gesetzmäßig schneiden und dabei Winkel von 30°, 60°, 90° und 120° entstehen lassen. Er konstruierte sich ein Sechseck (6 × 60°), halbierte dies mit einer Verbindungslinie zweier gegenüberliegender Winkel und legte den so erhaltenen Streifen auf dem Globus den Kontinentalumrißformen an. Dabei zeigte sich, daß die verschiedenen nach dem früher angegebenen Verfahren erkannten „geologischen Systeme“ unter Winkeln von 60° einander begegnen. Das Prinzip des gleichseitigen Dreiecks (3 Winkel von je 60°) beherrsche also die Anlage der genannten geomorphologisch-tektonischen Elemente der Erdkruste. Da es aber auch aufeinander senkrecht stehende Linien im Felsgerüste der Erdoberfläche gebe (z. B. Küsten von Spanien, Frankreich), konstruiert sich Deecke noch ein gleichseitiges Dreieck und stellt aus den Hälften eines solchen durch Umsetzung einen Rhombus her. Legt man diesen weiterhin mit der Kathete einer derartigen Dreieckshälfte zusammen, so erhält man in regelmäßiger Folge Winkel von 30°, 60°, 90°, 120°, 150° und 180° und diese Winkel sollen es sein, „welche die gesamte Landmasse der Erde beherrschen“.

Deecke erwähnt selbst, daß seine Versuche an die nachher noch zu besprechenden älteren französischen erinnern, die Formen der Erde in ein Netz mathematisch aufeinander bezüglicher Linien und Winkel aufzulösen. Man hat diese älteren Versuche verlassen, vielleicht mit einer einzigen Ausnahme, der Tetraëdertheorie, die größere Bedeutung zu haben scheint. Denn man fragt sich mit Recht, was mit solchen zahlenmäßigen Beziehungen eigentlich gesagt ist?

Digitized by Google

Die Erdoberfläche besteht aus einem endlosen Mosaik tektonisch und morphologisch ganz heterogener und ihrer Struktur nach grundverschiedener Schollen und es ist von vornherein selbstverständlich, daß bei jedem nur einigermaßen engen Netz, das man über sie breitet, zahllose „Punkte“ auf die Linien, in die Schnittpunkte und in die Zwischenräume dieses Netzes fallen. Wenn ich mit einem Gitter eine unendlich viel größere Fläche, auf welcher, dicht gedrängt, unzählige Mosaikstückchen von verschiedenstem Umriß und verschiedenster Größe liegen, bald da, bald dort bedecke, dann werde ich bei einer größeren Anzahl von Versuchen natürlich immer wieder Begrenzungslinien der Stückchen finden, die sich mit denen der Gittereinteilung decken — neben den vielen, die das nicht tun, wie in Deeckes Versuchen. Die vielen Treffer bedeuten also keine Gesetzmäßigkeit in der Anordnung der Mosaikstückchen und in dem Verlauf ihrer Grenzen, sondern sind nur eine anschauliche Demonstrierung von räumlichen Gleichartigkeiten mit Hilfe eines mechanischen Mittels — heterogene Dinge, die in keiner inneren kausalen Beziehung zueinander stehen.

Wir müssen daher alle derartigen Versuche aus methodischen Gründen ablehnen, weil das verbindende Tertium comparationis fehlt. Nur wo ein solches in bestimmten physikalischen Notwendigkeiten und Möglichkeiten gegeben erscheint, kann man solchen Versuchen, gesetzmäßig verlaufende Linien in der Erdkruste nachzuweisen, Beachtung schenken und das scheint mir mit der im folgenden zu besprechenden Tetraëdertheorie der Fall zu sein.

3. Die Tetraëdertheorie.

Die Neigung, naturwissenschaftliche Erscheinungen in mathematische Ordnungen oder Regeln bis zum äußersten einzuzwängen, ist von jeher eine Eigentümlichkeit des französischen Geistes gewesen, während das deskriptive Aufzeigen von Ursachenketten mehr die beschreibenden Naturwissenschaften in Deutschland charakterisiert. Es ist nur ein Beleg mehr für diese Tatsache, wenn wir finden, daß der erste Versuch, in den Konfigurationen der Erdoberfläche den Ausdruck mathematisch bestimmt verlaufender Linien zu sehen, von einem Franzosen, de Beaumont, herrührt[1]). Er entwarf ein gekünsteltes System, das sogenannte Pentagonalnetz, in welches er alle Gebirgszüge einzureihen versuchte. Es war gewonnen aus 15 größten Kreisen, welche den Kanten eines den Erdkörper repräsentierenden regulären Ikosaëders entsprachen. Die Theorie entstand um 1830 und wurde von ihm noch 1852 vertreten. Lapparent sagt[2]), das Prinzip, auf dem Beaumonts System beruhe, sei leicht zu rechtfertigen; denn wenn man von vornherein annehme, daß der Verlauf der Linien am Erdkörper einer bestimmten Gesetzmäßigkeit unterworfen sei, so müsse dieses Gesetz auch seinen geometrischen Ausdruck finden in einem der „Systèmes de symétrie“, auf die sich die Kugelgestalt der Erde beziehen lasse. Es habe sich also für de Beaumont darum gehandelt, jenes System größter Kreise zu finden, mittels dessen

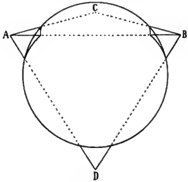
1) Zittel, K. A. v., Geschichte der Geologie u. Paläontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts, München 1899, S. 454—455. Dort auch ausführliche Literaturangabe.

2) Lapparent, A. de, Traité de Géologie. Vol. III, 5. Edit., Paris 1906, S. 1946.

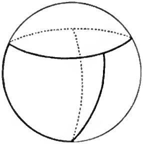
Digitized by Google

eine Kugel in gleiche und regelmäßige Figuren zerlegt werden könne; unter den zulässigen Möglichkeiten sei die zu wählen, bei welcher der Verlauf der größten Kreise am häufigsten mit den beobachteten terrestrischen Linien zusammenfalle.

Es ist natürlich ein ganz willkürliches Beginnen, die Formen der Erdoberfläche auf größte Kreise zu beziehen und ferner ein System zu wählen, welches, wie das Beaumont'sche Pentagondodekaëder, symmetrisch einander gegenüberliegende Flächen und Kanten hat. Betrachten wir die Erde unvoreingenommen, so ist von einer solchen Symmetrie nichts wahrzunehmen. Der Landhalbkugel entspricht antipodisch die Wasserhalbkugel (vgl. Fig. 11, S. 57), dem Nordpolarmeer das antarktische Land, den zwei Drittel Meeresbedeckung nur ein Drittel Landbedeckung usw. Und wenn überhaupt, um ein Wort Lapparents zu gebrauchen, das Geheimnis der Form der Erdkruste in einem geometrischen Körper gesucht werden soll, dann muß



Figur 9.


Figur 10.

dieser in der Ausbildung seiner Symmetrie das gerade Gegenteil des Pentagondodekaëder sein und dem entspricht eine tetraëdrische Figur[1]).

Denken wir uns in eine Kugel ein Tetraëder mit gleichem Volumen eingezeichnet (Fig. 9), dann befinden sich die Ecken *A*, *B*, *C*, *D* außerhalb der Kugel, die Flächen dagegen größtenteils innerhalb des Kugelkörpers. Die Kanten und Ecken einerseits sehen wir zu den Flächen andererseits antipodisch liegen. Den Erhebungen der Kugel, den Ecken, sind die Vertiefungen der Kugel, die Flächen, diametral entgegengesetzt.

Gregory stellt das Schema etwas anders dar. Er denkt sich das Tetraëder gerundet in die Kugel eingezeichnet (Fig. 10). Die vier Flächen stoßen in sechs Kanten aneinander und diese Kanten müssen Erhebungslinien auf einer Kugel bedeuten. Ihr Verlauf bildet in der Nordhemisphäre einen Kreis, von dem drei meridionale Kanten im

1) Ausführliche Besprechungen der Tetraëdertheorie findet man u. a. in: Haug, E., Traité de Géologie, Vol. I. Les phénomènes géologiques, Paris 1907, S. 518ff.; ferner in: Arldt, Th., Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt, Leipzig 1907, S. 521ff.; sowie bei Lapparent an der zitierten Stelle, S. 1945ff. Hierzu noch von demselben: Sur la symétrie tetraédrique du globe terrestre. Compt. rend. Acad. Sci., Bd. CXIII, Paris 1900, S. 614—619.

Digitized by Google

Abstand von je 120° ausgehen und im Südpol zusammenlaufen. Nimmt man Kanten und Ecken als absolute oder gegenüber den Flächen wenigstens relative Erhebungen auf der Idealerdkugel und die Flächen selbst als Meere, dann müssen Meere und Festländer antipodisch liegen, was in Wirklichkeit, mit Ausnahme einiger Teile von Südamerika, der Fall und auf nebenstehendem, aus STIELER entnommenen Kärtchen versinnbildlicht ist (Fig. 11).

Unser Tetraëder sei nun so orientiert, daß eine Spitze durch den Südpol der Erde geht, wo wir ja ein ausgedehntes und hohes Festland haben; die Hydrosphärenflächen seien, wie es ebenfalls in Wirklichkeit ist, kugelförmig begrenzt. Nach der GREGORY'schen Figur würde dann



Figur 11.

um die Polarkalotte herum ein gleichmäßiger Erhebungsring verlaufen, während nach der LAPPARENT'schen Figur, wie schon ARLDT auseinandergesetzt hat, die der Tetraëderfläche aufsitzende arktische Wasserkalotte mit ihrer Schnittlinie die Kanten nicht berührt, aber dennoch ebenfalls einen wenn auch unregelmäßigen Erhebungsring um die arktische Wasserzone herumgehen läßt. Nach beiden im Grunde ein und dasselbe wollenden Schematen muß darum ein tiefes Meer in der Nordpolarregion von einem im wesentlichen geschlossenen Landring umgeben sein, wie es besonders dann der Fall ist, wenn man nicht die jetzige Meeresgrenze, sondern den teilweise submarinen wahren Rand der Kontinentalmassen berücksichtigt. Es bleibt nur ein relativ

Digitized by Google

schmaler Kanal zum Atlantik hinunter übrig, der zwischen Grönland und Spitzbergen 3—4000 m tief wird, aber gleichfalls beim nördlichsten Spitzbergenschelf durch eine seichtere Meerestelle gegen das eigentliche Polarmeer abgegrenzt bleibt.

Es ist dies die erste, aber nicht die einzige, der jener mathematischen Anordnung erstaunlich nahekommenden Konfigurationen. Von dem polaren Ring in Fig. 10 sehen wir weiter drei Kanten im Abstand von 120° meridional ausstrahlen, und vergleichen wir den Globus, dann sehen wir in Skandinavien-Europa-Afrika, Asien-Australien, Nord- und Südamerika diese Erstreckung auch auf der Erdoberfläche wiederkehren. Besonders Südamerika ist bloß durch einen etwa 4½ Breitengrade breiten, 4—5000 m tiefen Kanal vom antarktischen Land getrennt, analog der vorhin beschriebenen, den Nordpolarring durchbrechenden Meeresstraße.

Wenn wir die drei großen meridionalen Kontinentalmassen von Nord nach Süd verfolgen, bemerken wir, daß sowohl Mittel- und Südafrika, wie Südamerika, wie Australien-Niederländisch-Indien gegen die Nordmasse der zugehörigen Kontinente ostwärts verschoben erscheinen. Wie ist das zu erklären?

Sehen wir uns die Lage der Tetraëderecken auf der Fig. 9 an, so finden wir eines derselben, das südpolare, in der Rotationsachse liegend; die drei anderen stehen auf der Nordhemisphäre in größtmöglicher Entfernung von der Rotationsachse ab. Denken wir uns, daß die Erde sich einmal aus irgendwelchen Gründen aus einer Kugel in eine mehr gerundet-tetraëdrische Form umzuwandeln strebte, dann würden vor allem die Stellen, wo sich Ecken bildeten, in ein höheres, über der idealen Kugelfläche liegendes Niveau hinaufgehoben worden sein und hatten dabei anfänglich eine geringere Rotationswinkelgeschwindigkeit als ihnen in ihrer neuen Lage zukam. Dadurch, daß ihnen nun eine raschere Umdrehung erst erteilt werden mußte, übten sie einen nach Westen gerichteten Druck aus und blieben daher gegen die anderen Flächen zurück. Infolgedessen erscheinen jetzt die Südteile der Kontinentalmassen nach Osten vorgeschoben. Die Erklärung, welche von Green stammt[1]), befriedigt, ganz abgesehen von Sonstigem, nicht, denn Afrika erscheint nicht ganz, sondern nur mit seiner Südhälfte verschoben. Wir werden nachher sehen, inwieweit die Tetraëdertheorie auch sonstige Forderungen nicht erfüllt, nachdem wir zuerst noch einige überraschend gut mit ihr vereinbare Merkmale der Erdoberfläche kennen gelernt haben.

Wenn die Erde tetraëdroide Form hat nach der hier vorgetragenen Ordnung, dann müssen auf der Nordhemisphäre dort, wo die Ecken vorstehen, auch die stabilsten Fixpunkte der Kontinentalmassen liegen und das bestätigt uns in der Tat die Geologie; sie zeigt uns die drei archäischen Komplexe des kanadischen, des fennoskandischen und des ostsibirischen Schildes. (Vgl. die Karte im Kap. VI.) Der erstere umfaßt den Norden der Vereinigten Staaten, Ost- und Mittelkanada, einen großen Teil der nordwärts davon liegenden Regionen und noch einen Streifen des südlichen Westgrönland, die Mitte bildet die epikontinentale Hudsonbai; der Umfang des fennoskandischen

1) Nach Lapparent, A. de, a. a. O. S. 1949. Green, L. W., Vestiges of the molten globe. Part. II. The earths surface features and volcanic phenomena. London 1873. Der hier einschlägige II. Band des Werkes von Green ist jüngst neu aufgelegt worden.

Schildes fällt mit Skandinavien, Finnland und dem unmittelbar südlich daranschließenden Teil Rußlands zusammen; der ostsibirische Kern umfaßt die Region zwischen Jenissei und Lena bis etwa zum Baikalsee. Ihre Zentren liegen fast auf demselben Breitengrad. Besonders bemerkenswert ist dabei, daß diese unseren proponierten Tetraëderspitzen entsprechenden Urmassive ein Widerlager gegen paläozoische Faltungsvorgänge gebildet und so durch die erdgeschichtlichen Zeitalter hindurch eine Stabilität bewährt haben, wie sie Körperwinkeln besonders zukommt. Während seit dem Archaikum kaum ein Teil der Erdkruste ungefaltet blieb, liegen teilweise älteste Schichten im kanadischen Schild heute noch horizontal.

Gregory, der zu Anfang dieses Jahrhunderts die Tetraëdertheorie wieder zu einigem wissenschaftlichen Ansehen gebracht hat[2]), nachdem die Stimme Greens, der sie ein Vierteljahrhundert früher begründete, ungehört blieb, will auch den Verlauf der ostwestlichen Wasserscheiden in dem eurasiatischen und amerikanischen Nordkontinent als Ausdruck der Tetraëderform aufgefaßt sehen. Die große eurasische Wasserscheide, sagt er, welche die nördliche und südliche Entwässerung trennt, läuft nicht längs der Hauptgebirgsachsen, sondern weit nördlich von ihr, zwischen dem 50. und 60. Breitengrad. Die Nord- und Südabflüsse von Nordamerika sind getrennt durch eine in derselben Breite verlaufende Scheide. Dies ist allerdings im großen ganzen richtig und frappierend. Aber seinen Argumentationen für die den Tetraëderforderungen entsprechende Lage der Wasserscheiden auf den Südkontinenten kann man nicht zustimmen, wenn er sagt, daß jene, anstatt den höchsten Gebirgszügen zu folgen, in longitudinalen Abständen von je etwa 120° in der nächsten Nähe der Küstenlinie verlaufen. Das stimmt weder für Afrika, noch hat es die allergeringste Bedeutung für Australien, wie ein Blick auf die Landkarte lehrt, und andererseits fällt in Südamerika die Wasserscheide so ausgesprochen mit dem Hauptgebirgszuge zusammen, daß für die ersten beiden Länder die Tetraëderhypothese nichts beweist und für das letztere es ihrer nicht bedarf.

Ebenso geht es mit einem anderen, angeblich für die Tetraëdertheorie sprechenden Argument, das Gregory anführt, wenn er unter Berufung auf Lubbock behauptet, wir hätten in der Nordhemisphäre nur ostwestlich streichende junge Gebirgsketten, als die er Pyrenäen, Alpen, Karpathen, Himalaya usw. nennt, während in der Südhemisphäre die großen Ketten nordsüdlich verliefen (Anden, der afrikanische und der große, Australien-Tasmanien durchziehende Rücken). Er will damit also sagen, daß die Gebirge der Erde parallel laufen den Kanten des Tetraëders. Aber abgesehen davon, daß unverständlich bleibt, warum die eventuelle Tetraëderform der Erde für diesen Gebirgsverlauf, der gar nicht auf eine Kante fällt, maßgebend sein sollte, ist es auch objektiv unrichtig, daß die Gebirgszüge der Erde jeweils den angegebenen Verlauf haben: die nordamerikanischen Anden und der Ural streichen nordsüdlich, der Apennin streicht diagonal dazu, desgleichen die alten Appallachen. Es ist also geradezu evident, daß die Gebirge und Wasserscheiden nicht bzw. nicht unmittelbar auf die Tetraëderform bezogen werden können und diese letztere nicht aus deren

2) Gregory, J. W., The plan of the earth and its causes. Geograph. Journ., Vol. XIII. London 1899, S. 225—251.

Verlauf begründet werden darf; zumal hier, wie bei der Wasserscheidenanordnung, doch zu berücksichtigen sind die ausgedehnten geologisch-erdgeschichtlichen Vorgänge, welche sich in diesen Gegenden auch sonst noch abgespielt haben und die man bei der Erklärung des Gebirgsverlaufs doch nicht einfach ignorieren kann.

Wohl aber dienen der Tetraëdertheorie die schon erwähnten nach Süden zugespitzten Festlandsgrenzen Südamerikas, Afrikas und Australasiens zur Stütze. Aus dem breiten Nordring, der an seiner Nordgrenze den Breitenkreisen parallel abschneiden muß, strahlen gemäß dem Verlauf der meridionalen Kanten die übrigen Landmassen südwärts heraus und so wird auch die Dreiecksgestalt der Kontinente im ganzen daraus verständlich.

Nicht minder wichtig sind zur Stütze der Tetraëdertheorie einige geodätische Tatsachen. Je nach den Orten, wo Vermessungen zur Feststellung der Form des Erdellipsoides vorgenommen wurden, ergeben sich verschiedene Resultate. Mit Bessels Kurvenberechnungen stimmen die Beobachtungen längs des 52. Breitengrades in Europa besser überein als mit den Clark'schen[1]). Gehen wir aber in das Wolgabecken, dann stimmen die Schweremessungen besser mit dem von Clark entworfenen Ellipsoid überein. Denn sie deuten in Westrußland einen großen Massendefekt an und Arldt erklärt dies damit[2]), daß wir uns dort auf einer anderen Tetraëderfläche befinden als im übrigen Europa. Gehen wir hinüber nach Nordamerika, wo uns das nächste Tetraëdereck begegnet, so finden wir dort das Gebiet eines zweiten großen Massendefektes. Man hat dieses erklären wollen durch die Annahme ausgedehnter unterirdischer Massen sehr leichten Materiales; aber Hehnert hat gezeigt, daß dies unvereinbar ist mit den Ablenkungen des Lotes von der Vertikalen, wenn diese hypothetischen leichteren Massen nicht an Ort und Stelle mehrere Kilometer tief hinuntergehen, was natürlich nach unserer Kenntnis von der Zusammensetzung der Erdkruste nicht angenommen werden kann. Diese Unterschiede sind also unvereinbar mit einer mehr oder minder gleichmäßigen Kugel und eher vereinbar mit der Annahme einer tetraëderförmigen Erde. Ein weiterer Wahrscheinlichkeitsbeweis für sie ist die andere geodätische Tatsache, daß die beiden Polargebiete ganz verschieden stark abgeplattet sind. Die Schwere nimmt auf der Südhalbkugel, besonders nach höheren Breiten hin, langsamer zu als auf der Nordhalbkugel, die letztere ist also abgeplatteter als die erstere. Indessen muß man bedenken, daß bis zu einem gewissen Grade das Meer am Nordpol an sich schon zu einer stärkeren Abplattung beiträgt als das Land am Südpol. Diese Art von Land- und Meeresverteilung haben wir aber oben schon als Ausdruck der Tetraëderform angesehen, so daß in diesem Zusammenhang die verschiedene Abplattung beider Polarzonen nichts anderes ist, als eine neue Perspektive auf die bisher schon behandelte Sache.

Es wird also tatsächlich durch die Tetraëdertheorie, wie man sieht, so viel sonst unverständlich Bleibendes unter einen erklärenden Gesichtspunkt gerückt, daß man sie nicht, wie man es mit der Beaumontschen Idee tun konnte, einfach abweisen darf.

1) Gregory, J. W., a. a. O. S. 243.

2) Arldt, Th., Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt, Leipzig 1907, S. 531.

Gregory glaubt übrigens den Nachweis erbringen zu können, daß einmal eine Umdrehung der Tetraëderform stattgefunden habe[1]). Er gedenkt der bekannten Verteilung von Land und Meer zu paläozoischer Zeit, wo über den größten Teil der Südhemisphäre vermutlich zusammenhängende Landmassen sich erstreckten, nämlich ein südamerikanisch-afrikanischer und ein afriko-indo-australischer Kontinent, der, wie wir hinzufügen dürfen, wohl auch noch ostwärts vom letzteren ein Stück weit sich erstreckt hat. Auch hier finden sich, gewissermaßen als feste Angelpunkte, drei archäische Massen: die südamerikanische, die afrikanische und die australische. Im Norden aber sind weit größere Areale als heute meerbedeckt, wobei Platz bleibt für eine kleine nordpolare Landmasse.

Ich möchte, diesen Gedankengang von Gregory zunächst aufnehmend, darauf hinweisen, daß die erwähnten paläozoischen Landmassen der Südhemisphäre relativ zu weit nördlich liegen, um sie ohne weiteres — gleiche Pollage vorausgesetzt — mit den heutigen Landmassen der Nordhemisphäre im Hinblick auf tetraëdrische Anordnung in Vergleich setzen zu können. Denken wir uns aber die paläozoische Pollage um ca. 25—30 Breitengrade in dem Sinne verschoben, daß der damalige Nordpol etwa in die Beringstraße fiele, dann haben wir einen nordpolaren, nur hin und wieder überschwemmten Landkomplex, analog dem jetzigen Südpolarland, und unseren Südkontinenten nähert sich der damalige Südpol um so viel, daß eine fast vollkommene Homologie mit der jetzigen Land- und Wasserverteilung herrscht, nur eben im spiegelbildlichen Sinne. Es könnte also, wie Gregory will, die Möglichkeit in Erwägung zu ziehen sein, daß eine Umdrehung der zur Tetraëderform drängenden Spannungsverhältnisse im Laufe der Zeit stattgefunden hat, und das Mesozoikum wäre dann jene Epoche, in welche die Übergangszustände fallen. Diese bestünden in einer Auflösung der alten südlichen Landmassen und in einer Herausbildung der nördlichen, wofür die geologischen Befunde ja auch deutlich sprechen. Zugleich müßte im Mesozoikum die nordpolare und die südpolare Region Meer gewesen sein, was für Trias und Jura noch zutrifft.

Noch eines würde uns diese Umorientierung unter Beibehaltung der soeben angenommenen Pollage erklären: die labile mittelmeerische Zone des Mesozoikums und der Jetztzeit. Hat sich nämlich die Tetraëderbildung um 180° gedreht, dann ist jenes große ostwestlich verlaufende Mittelmeer — die von Mexiko über den Atlantik, durch die heutigen Mittelmeerländer über Kleinasien und den Himalaya zum Stillen Ozean sich erstreckende Tethys — jene Linie auf dem Erdkörper, welche sich relativ gleichblieb und sozusagen als Drehungsachse funktionierte. Sie mußte die dauerndste Permanenz aller irdischen Linien zeigen und tatsächlich wissen wir, daß die Tethys das konstanteste Meer aller Zeiten ist und neuerdings noch durch die mittelmeerischen Einbrüche ihre Neigung, ein solches zu bleiben, verrät, trotz der aus ihr entquollenen tertiären Gebirgsfaltungen.

Wäre der ganze vorstehende Gedankengang richtig, wenn auch nur insoweit richtig, als die oben abgesteckten Grenzen der Tetraëdertheorie gehen, dann ergäbe sich noch eine wichtige Konsequenz. Die heutige Verteilung der Festländer und Meere, sowie die Existenz der drei alten Nordschilde wären bedingt durch die zweite, bereits

1) Gregory, J. W., a. a. O. S. 246—247.

gewendete Tetraëderorientierung. Die archäischen Massen in den Südkontinenten (Südamerika, Afrika, Indien, Australien, Pazifik) wären die hervortretenden Ecken und Kanten der angeblich ältesten Tetraëderorientierung. Diese letzteren müßten, wenn das Vorberige zuträfe, absolut und relativ älter sein, als die der Nordhemisphäre. Sie sind aber nachgewiesenermaßen schon im kambrischen Zeitalter als Landkerne vorhanden gewesen. Demnach hätte die Umorientierung der Tetraëderlinien schon vor dem Kambrium eingesetzt. Es hätte dann bis in den Anfang des Mesozoikums gedauert, bis die alten Südkontinente zerfallen und nun erst dem Meere des Nordens Platz machen konnten, so daß die Nordkontinentaltafeln, die nun entstanden, dann erst in Erscheinung treten konnten. Es ist ja ohnehin selbstverständlich, daß bei der Umwandlung einer Kugel zu einem Tetraëder die Ecken, die archäischen Klötze, sich am frühesten über das — durch die Hydrosphäre repräsentierte — Idealniveau herausheben. So führt uns die Tetraëdertheorie, wenn sie richtig ist, vielleicht geradewegs zu einer relativen Chronologie einzelner archäischen Gesteins- bzw. Festlandsmassen. Soweit die Diskussion derartiger Möglichkeiten.

Nachdem wir erkannt haben, daß gewisse Linien in der Konfiguration der Erdoberfläche mit den Forderungen der Tetraëdertheorie übereinstimmen, handelt es sich weiter um die Frage, auf welchem mechanischen, bzw. geodynamischen Wege der ihrer Natur nach kugeligen Erde die Tetraëderform mehr oder minder stark aufgezwungen werden konnte.

Vor allen Dingen hat hierbei die Vorstellung auszuscheiden, als ob die aus dem ursprünglichen Glutfluß in den Erstarrungszustand übergehende Erdkruste ebenso wie irgend ein anderer, aus dem flüssigen bzw. Lösungszustand in feste Form übergehender Stoff nun auch Krystallstruktur habe annehmen müssen. Das könnte wohl höchstens in „Mikrostrukturen" zum Ausdruck gelangen, aber wohl kaum in großen Linien über den ganzen Erdkörper hin, der sich ja kaum ganz gleichmäßig und sicher unter fortwährenden Reaktionen und Kataklysmen allmählich und lokal ganz verschiedenartig und nicht gleichzeitig abkühlte. Hier bei der Tetraëdertheorie kommt also wohl keinesfalls die Bildung eines gigantischen Erdkrystalls in Betracht, sondern eher der weit einfachere Fall, den wir bei magmatischen Massen, wie beim Basalt, zuweilen verwirklicht sehen, wo durch bestimmte, bei der Abkühlung entstehende Spannungsverhältnisse eine Zerlegung etwa in hexagonale, auffallend regelmäßige Säulen stattfindet[1]).

Im Prinzip dieselbe Kräftewirkung würde nun nach den Autoren, die bisher die Tetraëdertheorie vertraten, auch zur tetraëdrischen Deformation der Erdkugel führen. „Nichts stimmt mehr überein mit der Wirksamkeit physikalischer Gesetze, als daß die Erde in eine ungefähr tetraëdrische Form zusammengezogen ist; das ist die Form, die am besten die tangentialen Spannungen ausgleicht", sagt Preston, und zwar in folgendem Sinne: Unter allen regelmäßigen Körpern hat bei gleicher Oberfläche die Kugel das größte Volumen, das Tetraëder das kleinste; das Verhältnis ist nach Arldt 1 : 0,5498[2]). Nimmt das Volumen einer Kugel ab, ohne daß die Abnahme der Oberfläche damit

1) Vgl. die Darstellung in: Suess, E., Die Zerlegung der gebirgsbildenden Kraft. Mitteil. Wiener Geol. Ges., Bd. VI, 1913, S. 33—35.
2) Arldt, Th., Entwicklung der Kontinente, S. 522.

Digitized by Google

entsprechend Schritt halten kann, so verwandelt sich die Kugel möglichst in ein Tetraëder, weil diese Form ihr am längsten die Erhaltung ihrer früheren Oberfläche gewährleistet. Die Erscheinung ist nicht nur theoretisch vertretbar, sondern auch experimentell erwiesen. Überträgt man dies auf die Erdkugel, so muß man dabei noch die durch ihre Rotation bedingten Modifikationen berücksichtigen. Die Rotation wirkt natürlich der Herstellung des Tetraëders entgegen, denn sie trachtet, ein Ellipsoid herzustellen. Arldt meint nun, daß in sehr frühen Zeiten die Umwandlung der Kugelfläche in eine Tetraëderfläche nur wenig zur Geltung gekommen sein könne, da die Rotationsgeschwindigkeit der Erde anfangs — das Nähere hierüber bringt der nächste Abschnitt — viel bedeutender gewesen sei und daß erst im Laufe der späteren Erdgeschichte die Entwicklung zur Tetraëdergestalt Fortschritte gemacht habe, als sich die Umdrehungszeit wesentlich vermindert hatte. Ferner wird die der Herstellung des Tetraëders entgegenwirkende Zentrifugalkraft in den Polargegenden wegen der dort relativ verminderten Drehungsgeschwindigkeit sich weniger geltend machen als in den Äquatorialgegenden, in letzteren also am wenigsten der Nachweis der tetraëdrischen Anlage gelingen. Tatsächlich sehen wir auch in den Nord- und Südregionen am besten die Forderungen der Tetraëdertheorie erfüllt.

Wenn man auf dem Boden der Kontraktionstheorie steht, ist diese die plausibelste Erklärung für den tetraëdrischen Linienverlauf der Erdoberfläche. Aber man ist dann auch zugleich gezwungen, die heutige Verteilung und den heutigen Verlauf der Kontinentalmassen für präformiert zu halten von den Tagen der Erstarrung unseres Planeten aus dem Glutfluß her. Ich glaube aber, jeder Geologe wird sich mit Entschiedenheit dagegen sträuben, die jetzigen Kontinentalareale, ja kaum deren krystalline archäischen Kerne, auf das allerfrüheste Krustenstadium zu beziehen. Man ist doch allgemein und mit guten Gründen überzeugt, daß vom Gestein der ältesten Krustenbildung überhaupt nichts mehr an der Erdoberfläche vorhanden ist (vgl. Abschnitt 5 dieses Kapitals).

Ferner: wenn man die Tetraëderlinien mit der Kontraktion des Erdballes durch Abkühlung in Verbindung bringen will, ist auch die Möglichkeit zu berücksichtigen, daß sich im Laufe der endlosen geologischen Zeiten, vom Beginn des Archaikums an, auch noch zahllose anderweitige Kräfte geltend gemacht haben müßten, welche die ungestörte Durchführung des tetraëdrischen Linienverlaufes in der anfänglich eingeschlagenen Richtung modifiziert, ja vielleicht ganz gehindert und schließlich andere Orientierungen herbeigeführt hätten. Ich denke dabei an die ungeheueren Krustenbewegungen und Krustenfaltungen, die allein schon für das Archaikum anzunehmen sind. Solche Faltungen und Bruchverschiebungen, die Bildung von neuen Festlandskernen schon zu archäischer Zeit hätten gewiß bewirkt, daß bei fortschreitender Kontraktion der Erde die zur angenommenen Tetraëderisierung führenden Spannungen sich im Laufe der Zeit in der Erdkruste anders hätten verteilen und in immer anderen, unregelmäßigeren Richtungen sich hätten auswirken müssen, je mehr sich die Erdkruste durch Verfaltungen in sich stabilisiert und in widerstandsfähigere Faltenhorste und labilere andere Zonen und Regionen differenzierte. So hätte es schließlich sogar zu Verwischung der ältesten Tetraëderanlage oder vielleicht zu ihrer Ersetzung durch eine anders

orientierte kommen können. Auch das hätte natürlich nur teilweise stattfinden können, weil der bereits erreichte Starrheits- und Versteifungsgrad der Erdkruste bzw. vieler ihrer Teile eine vollkommene Neuorientierung nicht mehr gestattet hätte.

Aber ganz einerlei zunächst, was die Ursachen dieser merkwürdigen Formverteilungen der Erdoberfläche auch sein mag, gibt es, wie von vornherein sicher ist, eine größere Zahl von Bedingungen und gestaltenden Kräften, welche eine absolute Herausarbeitung der reinen Tetraëderlinien auf der Erdoberfläche verhindern müßten und diese Bedingungen müssen im Einzelnen erkannt werden. Die Ausgestaltung der Erdoberfläche hängt eben von einer Unzahl in den verschiedensten Zeiten verlaufener historischer Prozesse und Bedingungen ab. So kommt ein Gewirre sich kreuzender Erscheinungen zustande, deren Produkt eben die Erdoberfläche ist, die wir in concreto vor uns sehen. Wollte man deren Gestaltung nun allein auf die an ihrer Ausbildung eben doch nur partiell beteiligte Tetraëderisierungstendenz zurückführen, so wäre das eine grobe Einseitigkeit. Das bis zu einem gewissen Grad Brauchbare dieser Idee aber ganz zu ignorieren, weil sie nicht durchweg am Erdkörper zum Ausdruck gelangt, ist nicht minder einseitig.

Jede Sedimentation in den Meeren der Vorzeit, jeder Magmaerguß, besonders aber die großen Trappergüsse im westlichen Nordamerika und in Indien, sind schon eine Durchbrechung der reinen Tetraëderentwicklung gewesen und wenn wir vollends an die in einem der folgenden Kapitel dargelegten Möglichkeiten der Polverschiebungen, überhaupt partieller Krustenverschiebungen denken, dann werden wir uns um so mehr vor einem einseitigen Erklärungsprinzip hüten, zumal Sedimentation, vulkanische Ergüsse und sonstige Massenverlagerungen auch die Herstellung des Rotationsellipsoides, nicht nur die des Tetraëders, stören. Derartige Erwägungen berühren aber schon wieder ein anderes Problem, das der Isostasie, und werden hernach behandelt werden (Kapitel V).

Die eigentlich selbstverständliche Erkenntnis, daß die Tetraëderhypothese in der einfachen Form, wie sie soeben vorgetragen wurde, bei weitem nicht zureicht, um mehr als eine nur ganz beschränkte Zahl geomorphologischer Relationen unter einem Gesichtspunkt anzuordnen, führte nun bei den zu solchen Gedankengängen neigenden Autoren merkwürdigerweise nicht zu einer ausdrücklichen Einschränkung ihres Geltungsbereiches, sondern umgekehrt zu Übertreibungen. Man suchte immer wieder nach Krystallfiguren, die sich mehr der Kugelgestalt näherten und versuchte die vulkanischen und tektonischen Hauptlinien in noch kompliziertere Schemata einzupressen — im Prinzip nichts anderes, als was Deecke jüngst wiederholte. Gegen alle diese Theorien läßt sich einwenden, daß sie Elemente heterogenster Art in ein und dasselbe System einzugliedern trachten. Wenn man, wie z. B. Michel-Lévy, den Vulkanismus, die herzynischen und die alpinen Gebirgsbögen, sowie tektonische Bruchlinien in ein mathematisches Netz einzuschließen versucht[1]), dann mischt man, wie Haug betont[2]), Dinge zusammen, die zeitlich doch so weit auseinanderliegen

1) Michel-Lévy, A., Sur la coordination et la répartition des fractures et des effondrements de l'ecorce terrestre en relation avec les épanchements volcaniques. Bull. Soc. géol. France, Tome XXVI, Ser. 3, 1898, S. 105—121, Taf. I.

2) Haug, E., Traité de Géologie, Tome I, Paris 1907, S. 523.

Digitized by Google

und vielleicht auch in ihrer speziellen Entstehung so verschiedenartig sind, daß man nicht recht einsehen kann, was solche Abzirkelungen erklären. Gewiß ist es überraschend, etwa auf dem Kärtchen von Michel-Lévy zu sehen, daß die eine Kante seines Tetraëdroids nicht nur das norduralische Streichen, sondern auch den afrikanischen Graben trifft, während die andere Kante das Appallachenstreichen und die dritte zur Hälfte den ostaustralischen Gebirgsbogen begleitet. Das sind aber doch nichts als äußerlich formale Beziehungen, an deren Stelle man ebensogut das Meridiannetz von Greenwich und die Breitengrade verfolgen könnte, um solche Parallelismen aus dem Globus herauszulesen! Man muß gegen alle solche komplizierten Figurenentwürfe dasselbe einwenden wie gegen die Deecke'schen Einteilungsnetze und Homologien, umso mehr, als ja bei solchen Konstruktionen die Ausnahmen nicht nur ebenso zahlreich, sondern gewöhnlich zahlreicher als die dem „Gesetz" sich fügenden Momente sind. Das führt dann, wenn man von der Idee nicht lassen will, zu neuen Modifikationen und ad hoc erfundenen neuen Theorien. So nimmt Bertrand an[1]), daß durch die Veränderungen der Erde während der geologischen Zeiten Verschiebungen und Verbiegungen des ursprünglich mathematisch rein ausgeprägten Linienverlaufes stattfanden und Umlagerungen der Tetraëderisierung vor sich gingen, was auch Gregory erwägt.

Was jedoch an allen derartigen Ideen im Grunde Richtiges sein könnte, mag darin beruhen, daß ein der Rotation ausgesetzter, in sich geschlossener Körper mit einer dem Stahl etwa äquivalenten Riegheit unter allen Umständen immer und immer wieder sein Gleichgewicht herzustellen trachtet, wenn dieses gestört wird. Störungen des Gleichgewichtes müssen aber immerfort im Laufe der Erdgeschichte eingetreten sein. Durch die inneren Vorgänge werden Gebirge aufgetürmt und sonstige geotektonische Bewegungen und Verlagerungen erfolgen. Der Erdkörper stört daher von sich aus immerzu sein Gleichgewicht. Sobald dies von einer Stelle aus geschicht, werden an einer entsprechenden anderen oder gleichzeitig an mehreren anderen Stellen Kompensationsbewegungen stattfinden, die entweder in der Verlagerung fester oder in der Umlagerung flüssiger Massen bestehen. Das ist teilweise der Sinn des nicht ganz einheitlichen Begriffes „Isostasie". Es ist nun von vornherein zu erwarten, daß ursprünglich derartige Gewichtsausgleiche nicht an beliebigen, sondern an jenen Punkten vor sich gingen, die in einem ganz bestimmten Abstand von den Störungsstellen und in einer ganz bestimmten Gleichgewichtsbeziehung zu ihnen lagen, wodurch das Kompensationsbedürfnis am unmittelbarsten befriedigt werden konnte. Hierdurch mußten auch mit einer gewissen mathematischen Regelmäßigkeit tektonische Phänomene entstehen, die bis zu einem gewissen Grad, soweit nämlich nicht von anderer Seite Hemmungen vorlagen, jene mechanischen Grundbeziehungen in ihrer Anordnung wiederspiegelten. Daß aber dabei keine mathematisch angeordneten Linien im strengsten Sinne, wie es z. B. Michel-Lévys Figur anzeigt, entstanden, das kann etwa für die Gebirgsbildung folgendermaßen dargetan werden.

Wenn wir die asiatischen Faltenzüge betrachten, dann sehen

1) Bertrand, M., Déformation tetraëdrique de la terre et déplacement du pôle. Compt. rend Acad. Sci. Paris 1900, Tome CXIII, S. 449—464.

wir ihren Verlauf beeinflußt durch die Existenz des mandschurischen Blockes, um den herum wie Guirlanden sich die Züge der mittel- und südasiatischen Faltengebirge reihen, und wir sehen, wie der asiatische Kontinent um jenen seinen ältesten Kern herum sich seit paläozoischer Zeit ankrystallisiert: die nördlichen Gebirge tauchen aus paläozoischen Meeren auf, die den mandschurischen kristallinen Kern umspülten; die mesozoischen Meere branden an die zu Gebirgen aufgefalteten, den mandschurischen Block umgebenden Gebirgsfalten an und dringen teilweise in sie ein. Das Tertiärmeer bedeckt noch das Areal des Himalaya und seine Sedimente bauen heute dessen Höhen mit auf. Im Jungtertiär sind diese entstanden und haben das Meer aus dem asiatischen Areal ganz nach Süden verdrängt. Aber während die älteren Faltenbildungen Spielraum genug hatten und sich nach dem Verlaufe des mandschurischen Kernes nur im wesentlichen gerichtet haben, wird die himalayische Streichrichtung bestimmt durch einen zweiten alten Kern, gegen den sie hinbrandet: die alte indische Masse, auf der sich dauernd Festlandsbildungen vollzogen hatten (Gondwanaland), und durch den australischen archäischen Kern. Wir sehen nämlich den Himalaya südwärts abbiegen, konform den Umrissen des indischen Urblocks, und im Archipel wieder ostwärts gelenkt durch den Widerstand der australischen Urmasse. Dasselbe ist in Australien der Fall. Um die krystalline Masse hat sich die alte Ostkette gelegt und in noch weiterem Bogen konzentrisch der aus dem Sunda-Archipel herüberkommende neuseeländische junge Alpenbogen. Europa hat sich so mit der herzynischen, uralischen und alpinen Faltung um den Südrand des skandinavischen Schildes in immer weiteren Kreisen stabilisiert, wobei die alpine deutlich von dem böhmischen und alten südfranzösischen Massiv abgelenkt und umgebogen wird; in Nordamerika umranden die paläozoischen und weiter südlich die jungen Gebirgsbögen den alten kanadischen Schild. Ähnliches dürfte am Südpol der Fall sein.

So läßt sich die Anschauung vertreten, daß die Tetraëderecken einmal aus irgendeinem Grunde vorhanden, Widerlager bildeten, welche den reinen Verlauf der Gebirgslinien späterhin verhinderten, so daß diese eine regelmäßige Anordnung schon aus diesem Grund nicht mehr gewinnen konnten. Ja, daß ganze Faltungsperioden stellenweise infolge des bereits früheren Vorhandenseins von gefalteten und daher widerstandsfähigen Massen inhibiert wurden, zeigt die Gegend östlich vom Ural. Dieser und der Timan legen sich mit paläozoischen Falten ebenso im Osten um den fennoskandischen Schild, wie die herzynischen Falten des übrigen Europa im Süden. Tertiäre Falten aber konnten sich dort, östlich vom Ural, nicht mehr bilden, weil schon die alten Gebirge um den mandschurischen Block herumlagen. Die jüngeren Faltungen wurden daher nach Süden abgedrängt und daraus resultiert teilweise die Lage des alpinen Bogens in Europa und des himalayischen in Asien.

Ist es darum einerseits mehr als gewagt, aus dem Verlauf der Gebirge Tetraëderlinien und verwandte Netze herauslesen zu wollen, so zeigt sich aus der Lage der alten Kerne und der heutigen Festländer andrerseits, daß gerade die ältere, einfache Fassung der Theorie, wie wir sie oben zuerst vortrugen, mehr des Richtigen in sich zu schließen scheint als die Michel-Lévys, der zu sehr in die Neigungen Beaumonts verfällt, denen auch Deecke nicht ausgewichen ist.

Digitized by Google

Man kann heute noch nicht übersehen, auf was für Ursachen die Linienführung und die Massenverteilung an der Erdoberfläche im einzelnen und im ganzen zurückgeht. Nichts liegt uns ferner, als uns dogmatisch auf diese oder jene Erklärung festzulegen. Keine ist ausreichend, keine löst uns alle Rätsel, und was Problem ist, soll auch als Problem dargestellt und offengelassen werden. Daß aber die Tetraëdertheorie einen berechtigten Kern hat, kann nicht wohl geleugnet werden. Sie ist aber keine Universalerklärung für alle Formen und Linien der Erdoberfläche.

Die Erdoberfläche ist das Produkt zahlloser, in den erdgeschichtlichen Zeiten vor sich gegangener geodynamischer Ereignisse, ruhig und allmählich sich vollziehender, wie auch katastrophaler. Eine Beschreibung der Genese der Erdoberfläche muß in einer die kausalen Zusammenhänge klarlegenden, die einzelnen Komponenten isolierenden Analyse bestehen. Daß die Tetraëderisierung, abgesehen von ihren etwaigen Ursachen, bis zu einem gewissen Grade sich in der Ausprägung der jetzigen Erdoberfläche geltend macht, ist nicht wohl zu leugnen. Ihre Ursache kennen wir noch nicht. Sie einseitig zu einem alles erklärenden Prinzip zu erheben (Wasserscheidenverlauf, Gebirgsbildung), ist trübster Dogmatismus. Sie ist eine Teilerklärung, ein Mosaiksteinchen in jenem großen, vielfach zusammengesetzten und durchaus uneinheitlichen Ursachengewebe, das die geologisch-paläogeographischen Zustände und den jetzigen Linienverlauf schuf und noch weiterhin schaffen wird.

Aus dieser Erkenntnis leiten wir aber die Berechtigung ab, nach vielerlei Teilerklärungen zu suchen, diese sinngemäß zu kombinieren und das Wesen der Erdoberfläche, soweit es Gegenstand der Paläogeographie ist, durch alle möglichen, teils harmonisch zusammenfließenden, teils sich kreuzenden und einander entgegenarbeitenden Vorgänge zu erklären. Die Tetraëderisierung ist einer davon. Sie aus der Kontraktion der Erde abzuleiten, müssen wir ablehnen, weil dann die Verteilung und der Umriß der Kontinentalmassen der Jetztwelt älter sein müßte, als das älteste uns durch Gesteine bekannte Archaikum. Aber auch die Kontraktionstheorie selbst erscheint uns fragwürdig, wie der Abschnitt über die Bewegungen der Erdkruste zeigen wird.

Andrée sagt[1]): „Wenn die Erde überhaupt eine Entwicklung im Sinne der Anschauungen von Kant und Laplace durchlaufen hat, dann könnte die Anwendung der Tetraëdertheorie höchstens für die ersten Phasen ihres Entwicklungsganges in Frage kommen; spätere Ereignisse müßten aber diese Uranlagen längst bis zur Unkenntlichkeit verwischt haben; zum zweiten bildet auch hier die geringe Druckfestigkeit der Gesteine ein absolutes Hindernis dagegen, daß eine sich drehende Erde eine vom Rotationsellipsoid so abweichende Form anzunehmen vermöchte, und endlich müßten die Kettengebirge sowohl, wie die Grenzen der Kontinente und Meere als mehr oder weniger gerade Linien über die Erdoberfläche ziehen‘ wie E. Haug[2]) hierzu mit Recht bemerkt hat“. Hieraus ist zu erwidern, daß ja gerade aus dem Linienverlauf der heutigen Erdoberfläche die Tetraëdertheorie entsprang.

1) Andrée, K., Über die Bedingungen der Gebirgsbildung. Berlin 1914, S. 10/11.

2) Haug, E., Traité, Tome I, S. 519.

Außerdem meint HAUG[1]), daß bei der immer mehr zunehmenden Komplizierung der Gebirgssysteme und ihres Verlaufes im Laufe der geologischen Zeit man sich zur Aufstellung von mathematischen Liniensystemen auf eine tunlichst alte Zeit beschränken soll, wo noch am meisten günstige Chancen für eine möglichst reine unmodifizierte Entwicklung derartiger Anordnungen vorliegen dürften, z. B. im Paläozoikum. Aber ich glaube, man wird auf dem bisherigen Erklärungswege überhaupt nicht weiter kommen. Denn dem Paläozoikum geht das von Gebirgsbildung erfüllte Algonkium und das noch reichlicher hiermit bedachte Archäikum voraus. Es ist aber eine Binsenwahrheit, daß der Beginn des paläozoischen Zeitalters ein geologisch jungzeitliches Ereignis ist, verglichen mit der Dauer jener alten Epochen. Also auch die sogen. alten Zeiten, auf die HAUG zurückzugehen wünscht, würden wenig Aussicht für Erkennung eines ursprünglichen, regelmäßigen Linienverlaufes bieten. Es kommt noch dazu, daß uns durch die im folgenden Kapitel besprochene WEGENER'sche Theorie heute mehr als je große Vorsicht geraten erscheint mit der Beziehung jetztweltlicher Ortslagen auf vorweltliche.

Die zweifellos vorhandene tetraëdrische Verteilung der Länder und Meere ist eine ganz neuzeitliche Erscheinung. Wenn wir gerade deshalb, wie dargelegt, an der Tetraëdertheorie in ihrer einfacheren Form bis zu einem gewissen Punkte festhalten, so fällt uns damit die Aufgabe zu, auch eine Ursache anzugeben, durch welche die jetzige Kontinentalverteilung im Sinne der Tetraëdertheorie sich vollzog und zugleich muß diese Ursache erst in jüngerer geologischer Zeit, d. h. keinesfalls in präkambrischer oder gar archäischer Zeit wirksam gewesen sein. Aufschluß hierüber kann erst der Abschnitt über die Kontinentalverschiebungen (Kapitel IV) bringen, weil zuvor noch einige andere Erörterungen nötig sind. Nur so viel sei hier der Vollständigkeit halber einstweilen gesagt, daß wir die tetraëdrische Anordnung der Kontinentalgebiete für eine Wirkung der Gleichgewichtsherstellung auf der Außenseite des Erdkörpers halten.

4. Die Loslösung des Mondes und ihre Bedeutung für die Gestalt und die Geschichte der Erde.

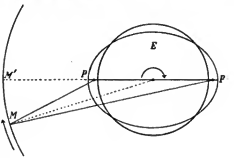
Ein Monat ist vollendet, wenn der Mond zu demselben Punkte am Himmel zurückgekehrt ist, also einen vollen Kreis — den seiner Bahn — durchlaufen hat. Ein Tag ist vollendet, wenn dieselbe Stelle der Erde nach Vollendung einer Umdrehung demselben Himmelspunkte wieder gegenübersteht. Es ist der Zustand mechanisch denkbar, daß Tag und Monat gleich werden, nämlich dann, wenn der Mond ebenso rasch um die Erde liefe, wie diese sich um sich selbst dreht, beide sich daher so verhielten, als ob sie durch ein starres Band miteinander verbunden wären und gleichsinnig miteinander rotierten. Jetzt ist die Sache so, daß die Erde wesentlich rascher rotiert, als der Mond einen Umlauf vollendet; daher ist der Monat länger als der Tag. Ist ein Mechanismus denkbar, oder was wichtiger ist: ist ein Mechanismus wirksam, der eine Veränderung der Tages- und Monatsdauer bzw. eine gegenseitige Abgleichung beider Perioden in Wirklichkeit anstrebt,

1) HAUG, E., Ibid., S. 524.

und in welchem Sinne kann dies geschehen? Darüber geben uns die Untersuchungen und Berechnungen des englischen Astronomen George Howard Darwin Aufschluß[1]), und diese gehören zu den wichtigsten Grundlagen einer umsichtigen paläogeographischen Forschung.

Wir wissen, daß der Mond die Gezeiten hervorruft; die Beteiligung der Sonne bei diesem Phänomen dürfen wir in den folgenden Erörterungen als unwesentlich beiseite lassen. Da die Erde rascher rotiert als der Mond umläuft, bleibt die Flutwelle infolge der Anziehung durch den Mond zurück. Die Erde dreht sich von Westen nach Osten, die Flutwelle drängt daher von Osten nach Westen und so tritt durch den hierbei geleisteten Widerstand — Reibung der Flutwelle am Felsgerüste der Erde — eine Verzögerung der Rotationsgeschwindigkeit ein. Jede Wirkung löst aber ihre Gegenwirkung aus, theoretisch an Kraft ihr gleich, aber in der Richtung entgegengesetzt: die Verzögerung der Erdrotation durch die Gezeitenreibung muß zu einer entsprechenden Beschleunigung des Mondes führen.

In Fig. 12 sei der Kreis E eine gleichmäßige, in sich flüssige Masse, der äußere Bogen links die Bahn eines Satelliten. Dieser befinde sich jetzt in M', gerade dem Punkt P gegenüber. Er ruft die bekannte Gezeitenwirkung hervor, bestehend in einer antipodischen Erhebung der Flüssigkeit und hierdurch den Kreis zu einer Ellipse umwandelnd. Nehmen wir nun an, die Flüssigkeit entbehre jeder inneren Reibung, die Ellipse drehe sich wie die Erde um ihre Achse, der Satellit bleibe gemäß



Figur 12.

seiner geringeren Geschwindigkeit zurück, dann behält die Gezeitenerhebung beiderseits stets ihre Richtung genau gegen den Satelliten bei und dreht sich relativ gegen die Rotationsrichtung von E zurück. In Wirklichkeit aber erfährt, auf die Erde und den Mond angewandt, die Flutwelle eine Reibung, wird bis zu einem gewissen Grade mitgenommen im Sinne der Rotationsrichtung von E und befindet sich erfahrungsgemäß darum stets etwas weiter vorn als der Satellit, welcher relativ zurückbleibt und tatsächlich in M steht, während sich der Flutberg schon in P befindet. Die Anziehung der Massen wächst im Quadrate ihrer Annäherung und darum ist die Anziehung von P auf M stärker, als von P', das ja M etwas zurückzuziehen trachtet, während P es vorwärts zieht. Resultierend überwiegt die von P auf M und umgekehrt ausgeübte Anziehung, im Endeffekt tritt somit eine Verzögerung der Rotation von E und eine Beschleunigung des Satelliten M ein.

---

1) Darwin, G. H., Ebbe und Flut, sowie verwandte Erscheinungen im Sonnensystem. Deutsche Übersetzung nach der 3. engl. Auflage von A. Pockels, 2. Aufl., Leipzig 1911, S. 260ff.

Digitized by Google

Rotiert ein Stein an einer elastischen Schnur und wirkt eine verzögernde Kraft, etwa die Reibung der Luft, auf ihn ein, so verkürzt sich die Schnur, er nähert sich dem Rotationszentrum; eine beschleunigende Kraft dagegen entfernt ihn davon. Ebenso entfernt sich der Satellit — durch die Gravitation elastisch an den Planeten gebunden — von ihm durch Beschleunigung seiner Umlaufsgeschwindigkeit; durch Verzögerung derselben würde er sich dem Planeten nähern. In Anbetracht der Wirkung der Gezeitenreibung und ihrer Wechselwirkung mit dem Monde ergibt sich somit zwischen diesen beiden Weltkörpern bei ihrer derzeitigen Verfassung die Beziehung, daß bei kontinuierlich fortwirkender Ursache (Gezeitenreibung) auch die Folge (Beschleunigung des Satelliten) wächst, und damit wächst seine Entfernung von der Erde, und zwar nicht plötzlich und ruckweise, sondern kontinuierlich. Ein kontinuierlich wachsender Kreis aber ist eine Spirale, der Mond entfernt sich in einer Spiralbahn von der Erde.

Trotzdem nun der Satellit infolge des geschilderten Mechanismus beschleunigt läuft, wird dennoch die Umlaufszeit um seinen Planeten länger, weil ja seine Bahn länger wird und er sich in immer größeren Spiralabständen von der Erde entfernt. Praktisch nimmt also, von der Erde aus gesehen, seine Umlaufsdauer zu, und so haben wir die scheinbar paradoxe Tatsache, daß die Wirkung der beschleunigenden Kraft gemäß Fig. 12 eine Verzögerung des Umlaufes bedeutet. Denn die auf den Erdkörper einwirkende Gezeitenreibung ist nicht so groß, daß sie auch die Rotationszeit der Erde um soviel verzögerte, daß das Verhältnis von Tages- und Monatslänge dasselbe bliebe.

Die Anziehung unseres Planeten auf seinen Satelliten ist nun so groß, daß sie dem spiralen Abweichen einen so beträchtlichen Widerstand entgegensetzt, daß es praktisch nicht zur ungehinderten tangentialen Entfernung des Mondes kommen kann. Als Endresultat bleibt somit übrig eine geringe spirale Abweichung, eine sich verlangsamende Umlaufszeit des Mondes und eine Verzögerung der Rotationsgeschwindigkeit der Erde. Die spirale Bahn des Mondes ist somit eine naturnotwendig aus der mechanischen Wechselwirkung beider Weltkörper sich ergebende Tatsache, wenn auch der Betrag der Abänderung seit historischen Zeiten außerordentlich gering ist, wie sich auf dem Umwege über die Berechnung der Sonnenfinsternisse ergibt.

Es war nicht immer so. Die Intensität der gezeitenerzeugenden Kraft ändert sich im umgekehrten Verhältnis wie die dritte Potenz der Entfernung. Denkt man sich den Mond nur halb so weit von der Erde entfernt, so ist die fluterzeugende Kraft und damit die Flut selbst schon 8mal, bei einem Drittel Entfernung schon 27mal und bei einem Viertel Entfernung schon 64mal so stark wie jetzt. Noch mehr aber wächst die Wirkung der Gezeitenreibung selbst, weil der Mond seinerseits wieder auf den Flutberg, wenn dieser massiger wird, im Quadrat der Massenzunahme attraktiv einwirkt und dieser ebenso auf ihn zurückwirkt. Ursache und Wirkung steigern sich also gegenseitig. Wäre die Fluthöhe stets eine konstante Größe, so würde jene vorhin angegebene Wirkung und Rückwirkung in der dritten Potenz das Ergebnis allein bestimmen. So aber ist die mit der näheren oder weiteren Entfernung des Satelliten steigende oder fallende Veränderlichkeit der Flutgröße mit in Rechnung zu stellen; es ist sowohl die vergrößerte Flut, als auch die wachsende Mondanziehung und ihre dementsprechende Rückwirkung zu berücksichtigen, und das ergibt, daß die Verzögerung

der Erdrotation bei größerer Annäherung des Mondes nicht wie die dritte, sondern wie die sechste Potenz sich ändern muß. In Zahlen: Denken wir uns den Abstand des Mondes auf die Hälfte seiner jetzigen Entfernung reduziert, so muß sich die rotationsverzögernde Wirkung der Gezeitenreibung, sowie die beschleunigende, den Mond abtreibende Energie 64 mal, bei einem Drittel Abstand 729 mal, bei einem Viertel Abstand 4096 mal steigern. Ist also auch gegenwärtig die beschriebene Wirkung sehr schwach, so muß sie nach Maßgabe der angeführten Zahlen doch ganz außerordentlich viel stärker gewesen sein, als uns der Mond noch näher war.

Darwin kommt so zu dem Satze, daß bisher die Anzahl der Tage im Monat abnimmt, während gleichzeitig der Monat die Tendenz hat, länger zu werden. Das geht so fort, bis die Tageslänge = 55 unserer jetzigen Tage erreicht haben wird, und gleichzeitig wird der Monat, also die Zeit einer Umlaufsvollendung des Mondes, ebenfalls 55 unserer jetzigen Tage lang sein. Rotation und Mondumlauf vollziehen sich dann gleich schnell, der Mond wird dann stets demselben Punkte der Erdoberfläche gegenüberstehen, also jener Zustand erreicht sein, den wir oben durch den Vergleich mit dem Bande kenntlich zu machen versuchten.

Genau der gleiche Zustand muß nun auch in der frühesten Zeit, als der Mond der Erde noch sehr nahe war, obgewaltet haben. Wir sahen, daß der jetzige Mechanismus zu einer Verlängerung des Tages und Monates führen wird. Rückwärts verfolgt, muß er uns einen immer kürzeren Tag und Monat zeigen. Denken wir uns die ganze Bewegung seit den frühesten Zeiten auf einen Film reproduziert und wickeln wir den Film nach rückwärts ab, dann sehen wir die Erde immer rascher und rascher rotieren, den Mond aber auf einer Spirallinie ihr näher und näher rücken und dabei in immer kürzerer Zeit um sie kreisen. Schließlich läuft er so nahe um, daß er die Erde berührt, und in diesem Augenblick haben beide, wie durch einen unendlich kurzen Balken verbunden, dieselbe Umdrehungszeit — aber in ganz anderem Sinne, wie es uns die Zukunft nach der obigen Schilderung dereinst zeigen wird. Im Urzustande stand der Mond stets derselben Stelle der Erde gegenüber, und Tag und Monat waren gleich lang. Es ist aber klar, daß dieser Monat etwas ganz anderes war als der spätere.

Die Art der Existenz des Mondes zeigt uns, daß er sich zu irgend einer Zeit von der Erde losgelöst haben muß. Diese Loslösung und das, was unmittelbar folgte, kann zweierlei Verlauf gehabt haben: entweder war vom ersten Augenblick an der Monat länger als der Tag, dann blieb der Mond gegen die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde zurück, durchlief in diesem Urmonat alle Punkte des Erdäquators und erzeugte die erste ungeheuere Flut, die vielleicht eine magmatische gewesen ist. Damit trat der oben durch Fig. 12 erläuterte Mechanismus ein, der bis zum heutigen Zustand führte. Wenn der Mond aber aus irgendeinem Grunde vom ersten Augenblick an etwas rascher umgelaufen, der Monat also etwas kürzer als der Tag gewesen wäre, hätte die Flut nach vorwärts drängen, also die Rotation der Erde beschleunigen, der Mond also wieder zurückgezogen werden und in den Planeten zurückstürzen müssen. Da der Mond tatsächlich existiert und in dem mechanischen Verhältnis zur Erde steht, das Darwin zur Grundlage seiner Berechnungen gemacht hat, kommt als Anfangszu-

Digitized by Google

stand auch nur der erstere in Betracht, daß vom Loslösungsaugenblick an der Monat länger als der Tag war.

Es verlängerte sich nun Tag und Monat, jedoch nahm, wie es in der Natur des Mechanismus liegt, die Monatslänge schneller zu als die Tageslänge, so daß die Zahl der Tage im Monat wuchs, obgleich jener frühere Monat kürzer war als der heutige. Das ging so fort, bis eine Krisis eintrat in dem Augenblick, da auf einen Mondumlauf 29 Umdrehungen der Erde kamen, der Monat also 29 Tage hatte. Gegenwärtig besteht er aus $27^1/_3$ Tagen. Ehe er 29 Tage hatte, gab es also einen Zeitpunkt, in dem das Gleiche der Fall war, wenn auch — absolut gemessen — damals Tage und Monate an sich kürzer waren als die jetzigen. Es läßt sich unter Berücksichtigung der spiralen Zunahme des lunaren Bahndurchmessers, ferner der relativen Verlangsamung, die der Mond durch die Beschleunigung erfährt, und des Anfangsmechanismus durch mathematische Berechnung, die mir unzugänglich ist, nach Darwins Mitteilung beweisen, daß auf einen Mondumlauf niemals mehr als 29 Erdumdrehungen fallen können bzw. konnten.

Wir haben somit diesen mittleren Punkt unserer Geschichte, wie sich Darwin ausdrückt, schon überschritten. Die Tageslänge nimmt jetzt relativ rascher ab als die Monatslänge; und obgleich beide absolut zunehmen, wird die Anzahl der Tage im Monat jetzt wieder geringer. Der Endzustand wird sein, daß beide Sterne sich wieder so verhalten werden, als wenn sie durch einen sehr langen Balken starr miteinander verbunden wären. Der Unterschied besteht nur darin, daß der Anfangszustand labil war und durch die geringste Unregelmäßigkeit dauernd gestört werden konnte; der Endzustand ist stabil, weil von außen kommende Störungen durch ein allmählich abnehmendes Hin- und Herpendeln des Mondes um seine Bahn ausgeglichen werden könnten.

Auf rein astronomisch-mathematischem Boden ist diese Darwin'sche Theorie gewachsen. Der Geologe wird unschwer Gesichtspunkte beizubringen wissen, welche einen so einfachen Verlauf des an sich ja nicht bezweifelbaren Vorganges in Frage stellen. Denken wir nur an die Möglichkeit der tetraëdrischen Differenzierung der Erdoberfläche, dann müssen wir sagen, daß jede Abweichung von der Kugelform, sobald sie eintritt und während sie sich entwickelt, zu einer Irritierung der Mondbahnspirale führen muß. Denken wir weiter an die Möglichkeit einer Niveauänderung größerer Krustenpartien, denken wir an die Tatsache der Gebirgsbildungen, wodurch ausgedehnte Partien der Erdkruste horizontal und vertikal verschoben wurden, dann wird diese Massenverlagerung ebenso stark sich durch eine Störung der Mondbahn bemerkbar gemacht haben, wie die Veränderung des Gezeitenphänomenes infolge des steten Wechsels der Festländer und Meere. Hat sich aber nicht nur durch das Gezeitenphänomen, sondern auch durch Heraushebung von Krustenteilen, denen eine raschere Winkelgeschwindigkeit erteilt werden mußte, die Verzögerung der Rotationszeit weiterhin gesteigert, dann ist auch dieses Moment in Rechnung zu stellen und so wird praktisch Darwins Schema modifiziert.

Immerhin wird hierdurch das Wesentliche des Darwin'schen Gedankenganges nicht widerlegt, denn die Existenz des Mondes und die Art seines Verhältnisses zur Erde zwingt zu der Folgerung, daß er dereinst die Erde verlassen hat, wenn auch die beschriebene Bahn

praktisch weniger schematisch verlaufen sein dürfte, als dies DARWIN berechnet.

Wir fragen uns daher: was für Folgen könnte möglicherweise die Idee einer ehemaligen größeren Nähe des Mondes und einer ehemaligen rascheren Rotation der Erde für unsere paläogeographischen Anschauungen haben?

Zunächst ist darauf hinzuweisen, daß eine intensivere Rotation wohl auch einen rascheren Wechsel der täglichen Erwärmung durch die Sonne und der nächtlichen Abkühlung mit sich gebracht haben dürfte. Das Luftmeer mußte infolgedessen unruhiger gewesen, der Wechsel von Niederschlägen und heiterem Himmel sehr viel rascher verlaufen sein, als bei langsamerer Rotation. Dieses schnellere Nacheinanderwirken von klimatischen und meteorologischen Gegensätzen muß eine intensivere Denudation bewirkt haben, und dazu kommt, daß auch die Erosionskraft des Meeres an den Küsten infolge der wegen Mondnähe intensiveren Fluten durchschnittlich größer gewesen sein dürfte, als heutzutage. Wenn wir nun für die paläozoischen Sedimente Mächtigkeiten angegeben finden, gegen welche die jungpaläozoischen, mesozoischen und tertiären recht zusammenschrumpfen, so hängt dies vielleicht mit den infolge der noch größeren Rotation und der stärkeren Gezeiten lebendiger gewesenen exogen-geodynamischen Agentien zusammen. Man wird nicht einwenden können, daß die Mächtigkeit der paläozoischen Formationen gegenüber den späteren ein Scheingrund sei, weil ja die Einteilung in Zeitalter und Stufen von der Willkür abhänge; man könne die paläozoischen Perioden auch noch zehnmal teilen, und dann sei die einzelne Formation auch nicht mächtiger als spätere, jüngere. Das stimmt nicht, weil die faunistischen und floristischen Veränderungen in den kurzen mesozoischen und känozoischen Formationen mindestens ebenso bedeutend sind, wie in den mächtigen paläozoischen des Kambrium, Unter- und Obersilur und Devon. Wir dürfen also mindestens die Anhäufung der späteren geringmächtigen Ablagerungen auf einen durchschnittlich ebenso langen Zeitraum verteilen, wie die der früheren sehr mächtigen, selbst wenn wir vielleicht eine allmähliche Beschleunigung der Faunenentwicklung zulassen.

Eine raschere Rotation der Erde hat auch das Gewicht der Körper erleichtern müssen durch die gesteigerte Intensität der zentrifugalen Kraft. Auch dieses Moment könnte für einen rascheren, ausgiebigeren Transport von Verwitterungs- und Erosionsmaterial in Betracht kommen. Für die Insekten endlich — Vögel gab es vor dem Mesozoikum noch nicht — war damit die Möglichkeit gegeben, sich mit einem schwereren Körper unter gleicher Kraftanstrengung in die Luft zu erheben, und es erscheint vielleicht in diesem Zusammenhang erklärlich, warum die ältesten Insekten, die Paläodictyoptera, aus denen sich nach HANDLIRSCH wahrscheinlich alle späteren schon im Altpaläozoikum entwickelt haben[1]), große schwere Formen waren und einen primitiv arbeitenden Flügelapparat besaßen, der sich nur nach aufwärts und abwärts, aber nicht schraubenförmig bewegen konnte. Die Verminderung des Körpergewichtes der späteren Insekten und der vollkommenere Mechanismus ihrer Flugbewegung könnten daher im Zusammenhang mit der infolge verminderter Erdrotation zunehmenden größeren

1) HANDLIRSCH, A., Die fossilen Insekten und die Phylogenie der rezenten Formen, Leipzig 1906—1908, S. 61—62.

Digitized by Google

Schwerewirkung stehen. Freilich haben solche Erwägungen keine unmittelbare Beweiskraft, aber immerhin zeigen sie uns sehr anschaulich, auf wie verschlungenen Wegen die paläogeographischen Erkenntnisse gelegentlich gefunden werden können. Tatsache ist jedenfalls, daß man bisher noch gar nicht methodisch derlei Grundfragen und ihre Konsequenzen in Betracht gezogen hat.

Außer dem Umstande, daß früher, und zwar keineswegs nur in vorpaläogeographischer Zeit, die Erde rascher rotierte und auch ein intensiveres marines Gezeitenphänomen besessen haben muß, ist zur Beurteilung gewisser uralter Grundzüge des Erdantlitzes noch eine Konsequenz wichtig, die vor allem Pickering in nachstehender Form aus der Darwin'schen Mondtheorie entwickelt hat[1]). Das spezifische Gewicht des Mondes ist 3,4, das der Erdrinde noch nicht 3, das des Erdinnern aber sehr hoch. Wenn der Mond einmal die Erde verlassen hat, kann er daher nur der tieferen Außenzone des Erdballes entstammen. Es ist aber weiter aus astronomischen Gründen ausgeschlossen, daß die urzeitliche Loslösung der Mondmasse vom Erdkörper stattgehabt haben kann, als beide Körper — bzw. der noch nicht der Mondmasse beraubte Erdkörper — noch in flüssigem Zustand waren. Der Erdball muß nach Untersuchungen von Roche, auf die sich Pickering bezieht, schon einigermaßen verfestigt gewesen sein, wenigstens mußte das Oberflächenmaterial schon einen hohen Grad von Kohäsion und Konsistenz erreicht haben. Es hatte sich also schon die Bildung einer festen, wenn auch dünnen Erdkruste vollzogen; wir müssen dabei an den Charakter eines eben sich von außen her verfestigenden Lavastromes denken, dessen Kruste schon sehr hart und tragfähig ist, auch wenn sie eben erst entstand.

Bedenkt man, daß es auch unter den Geologen genug Stimmen gibt, welche für die Anschauung eintreten, daß die Kontinentalmassen im großen und ganzen sich an jenen Stellen befänden, an welchen sich bei der ersten Krustenverhärtung die ersten Erhebungen bildeten, dann erscheint der Versuch Pickerings, nun auch die Stelle zu bestimmen, wo dereinst die Mondabspaltung stattfand, nicht so ganz vergeblich; die Stelle könnte sich, wenn auch nicht mehr in ihrer ganzen Ursprünglichkeit, dennoch heute noch im Relief der Erdkruste bemerkbar machen. Wir folgen, zunächst noch ohne Widerspruch, dem Gedankengange Pickerings.

Errichtet man in 25° südl. Breite und im Meridian der Behringstraße ca. 1600 km nordöstlich von Neuseeland eine Vertikale von genügender Höhe und sieht in der Richtung dieser Linie auf die Erde herab, so sieht man die pazifischen Küsten fast einem größten Kreise folgen, man hat vor sich die pazifische Wasserhalbkugel. Errichtet man die Vertikale in der Behringstraße, so sieht man die Wasserhalbkugel mit dem erstgewählten Punkte in ihrem Äquator auf der einen, die Landhalbkugel auf der anderen Seite. Daraus sei zu schließen, daß der Erdschwerpunkt nicht mit dem Mittelpunkte des Volumens

1) Pickering, H. W., The place origin of the moon — the volcanic problem. Journ. of Geology, Vol. XV, Chicago 1907, S. 23—38; ferner Ebert, H., Der Ursprung des Mondes und das Vulkanproblem nach W. H. Pickering, Beitr. z. Geophysik, Bd. X, 1910, Kl. Mitteil., S. 1—10. Weiteres über die Originalarbeiten Pickerings in: Günther, S., Vergleichende Mond- und Erdkunde, Braunschweig 1911, S. 119.

zusammenfällt, eine Abweichung, die noch anschaulicher würde, wenn man das Wasser von der Erde wegnehmen könnte.

Pickering nimmt nun an, daß die östliche, das meiste Land tragende Halbkugel ursprünglich kompakter war und daß die auffallende Homologie der Küstenformen von Amerika und Europa-Afrika die Annahme gestatte, daß diese beiden Kontinentalmassen auseinandergerückt seien, und sich somit der pazifische Defekt unterdessen wieder etwas geschlossen habe. Es ist dies eine von Wegener neuerdings mit ausführlicher Begründung vertretene Theorie, auf die wir im folgenden Kapitel noch genauer einzugehen haben. Pickering berechnet, daß das gesamte, infolge der Mondabspaltung auf dem pazifischen Areal fehlende Rindenstück dort, wo wir keine Kontinente antreffen, eben die Masse des Mondkörpers ausmache.

Die Einwände, welche Ebert und nach ihm Günther gegen diese Pickering'sche Theorie erheben, leitet Letzterer[1]) mit den Worten ein: „Allen Geologen und Geographen steht es fest, daß es absolut unzulässig ist, physiognomische Züge der gegenwärtigen Erdoberfläche irgendwie als etwas Dauerndes zu betrachten. Es mag wohl eine geringe Anzahl permanenter Erdgebiete geben, die seit der azoischen Zeit entweder nur Festland oder nur Wasser waren, allein davon kann keine Rede sein, daß irgend einer der großen irdischen Ozeane damals, als der Mond sich vom Erdverbande losriß, schon nach seinen Küstenlinien präformiert gewesen sei.“ Günther schließt sich weiterhin dem von Ebert in der zitierten Abhandlung gemachten Einwand an, daß Pickering vermutlich zu einer ganz anderen Lagebestimmung des Monddefektes auf dem Erdkörper gekommen sein würde, wenn er statt des jetzigen Globus etwa eine Erdkarte der Silurzeit herangezogen hätte.

Ich glaube, hier wird Pickering mit nicht ganz zureichenden Argumenten bekämpft. Gerade Suess, auf den sich Günther im Anschluß an die soeben zitierten Worte beruft, vertritt[2]) in seinem „Antlitz der Erde“ auf das entschiedenste das hohe Alter des Großen Ozeans und hat in anderen namhaften Geologen, wie Schuchert, Willis, Frech[3]), Nachfolger und Gesinnungsgenossen, für die, um mit Kokens Worten zu reden, die Permanenz des pazifischen Ozeans seit den ältesten Zeiten einfach eine Tatsache ist, welche die Geologie nicht umgehen könne[4]). Auch heute noch tritt, außer Haug[5]), niemand meines Wissens entschieden für eine Nichtpermanenz dieses ungeheueren Beckens ein, und man darf daher gegenüber Pickerings interessantem Versuch nicht von der feststehenden Tatsache sprechen, daß es nichts Dauerndes in den physiognomischen Zügen der Erde gebe. Wir haben allerdings im westlichen Pazifischen Ozean Inselgruppen, die aus altkrystallinen Gesteinen bestehen; Neumayr betrachtete die polynesischen Inseln als Reste pazifischen Landes, das in der Jurazeit bereits verschwunden gewesen wäre. Auch Wichmann nimmt einen krystallinen Kern für viele jetzt von neuen Vulkangesteinen und Korallenbauten überwucherte Inseln an; Burckhardt hat eine ehe-

1) Günther, S., a. a. O. S. 122.
2) Suess, E., Das Antlitz der Erde, Bd. II.
3) Frech, F., Lethaea palaeozoica, Stuttgart 1897—1902, S. 679.
4) Koken, E., Die Vorwelt und ihre Entwicklungsgeschichte, Leipzig 1893, S. 404.
5) Haug, E., Traité de Géologie, Tome I, Paris 1907, S. 168, 169—170, 321.

malige, von Südamerika aus westliche Ausdehnung eines südpazifischen Landes durch Konglomerate mindestens für die Oberjurazeit nachgewiesen[1]); aber trotzdem steht fest, daß für den allergrößten Teil jenes ungeheueren ozeanischen Areales nichts bekannt ist, was die alte Auffassung von EDUARD SUESS widerlegen könnte. Ich selbst habe mich auf Grund der HAUG'schen Geosynklinallehre in einem früheren Aufsatze der Annahme pazifischer Landkomplexe zugeneigt[2]), aber auch hierbei konnte es sich doch nur um verhältnismäßig wenig ausgedehnte Areale handeln; das pazifische „Loch" bleibt trotz alledem bestehen und erst recht dann, wenn sich das auch von PICKERING und neuerdings von WEGENER geltend gemachte spätere Heranrücken der amerikanischen Kontinentalzone bewahrheiten sollte. Es kann weiterhin, wie GÜNTHER betont, allerdings keine Rede davon sein, daß die Umrandung des pazifischen Ozeans damals, als sich der Mond losriß, in seinen heutigen Küstenlinien fixiert wurde; nur fragt sich, wie man den Begriff „Umrandung" auffaßt. Daß diese aus jungen Gebirgsbögen besteht, die an dem asiatischen Rande erst neuerdings treppenförmig niedergebrochen sind, weiß man ja; man weiß auch, daß außer diesen jungen Ketten die nach dem Innern des asiatischen und amerikanischen Kontinentes ihnen folgenden älteren erst paläozoische Auffaltungsprodukte sind. Damit sind aber Veränderungen der Ränder bezeichnet, die kaum als Gegenargument gegen die Permenz des Pazifik verwendet werden können.

PICKERING hat also gewiß Unrecht, wenn er die jetzigen Küsten als Umrahmung der vom Mond zurückgelassenen Depression bestimmt, aber dennoch kann man gegen diese Bestimmung erfolgreich nichts einwenden, wenn man im angegebenen Sinne eine gewisse Modifikation der Umgrenzung des Areales zuläßt. Es ist daher zuzugeben, daß PICKERING mit einer Silurkarte das Gebiet zwar anders abgegrenzt, aber nicht, daß er es wesentlich verlegt oder seine Theorie aufgegeben hätte.

Es ist überhaupt eine eigenartige Sache mit solchen aus einem universalen und großen Gesichtspunkt das Antlitz der Erde umfassenden Betrachtungen. Sie haben ihre volle heuristische Berechtigung, auch wenn sie unserem schrittweise und tastend vorwärtsschreitenden derzeitigen geologischen Denken allzu kühn, ja vielleicht abenteuerlich erscheinen. Keine Wissenschaft ist ein in ihren Methoden und mit ihren Perspektiven abgeschlossenes Feld, das nicht Beleuchtung von außen brauchte. Welche verhältnismäßig geringe Spanne Zeit umfassen unsere geologischen und paläogeographischen Untersuchungen und Versuche, einen Einblick in das Werden und Wesen der Erdoberfläche zu gewinnen! Wir sind gewohnt, die Grundzüge des Erdbaues zu beurteilen nach den in der geologisch-historischen Zeit der Erdgeschichte vor sich gegangenen Bewegungen der Kruste, nach den dabei in Erscheinung getretenen Gebirgs- und Kontinentalformen, Überflutungen und Regressionen. Vielleicht ist das alles nur ein posthumes Nachzittern „prähistorischer" geologischer Zeit oder es sind nur „Zwischenfälle" in der letzten Auswirkung der großen, in einer unserem Blick

1) BURCKHARDT, CH., Traces d'un ancient continent pacifique. Revista Museo de la Plata, 1900, Bd. X, S. 177 ff.
2) DACQUÉ, E., Die Stratigraphie des marinen Jura an den Rändern des pazifischen Ozeans. Geol. Rundschau, Bd. II, Leipzig 1911, S. 495—498.

allzufern liegenden Zeit gegebenen Gesetze. Sicher ist, sagt Suess, für uns nur das eine, daß die Verteilung der großen ozeanischen Senkungen nicht eine zufällige, sondern das Ergebnis eines in der Natur des Planeten gelegenen Entwicklungsganges sein muß. Jeder ernste Versuch, der Kenntnis dieses Entwicklungsganges näher zu kommen und womöglich die Ergebnisse des Analytikers mit jenen des Geologen in Verbindung zu bringen, ist daher erwünscht.

5. Die ursprüngliche Erstarrungskruste.

Daß man in irgendwelchen archäischen Gesteinen, deren Entstehung zur Zeit noch fraglich ist, Reste der ehemaligen *Erstarrungskruste* sehen dürfte, muß als ganz ausgeschlossen gelten. Vor allem sollte man den Ausdruck ursprüngliche bzw. ehemalige Erstarrungskruste vermeiden und ihn keineswegs im zeitlichen Sinne nehmen wollen. Denn es ist aus ganz allgemeinen Gründen höchst unwahrscheinlich, daß die „ursprüngliche", nach der Kant-Laplace'schen Theorie zu fordernde Erstarrungskruste zur archäischen Zeit noch irgendwo, sei es oberflächlich oder subterran, existierte. Bei den ganz gewaltigen Umsetzungen, welche das Material der Erdrinde schon mit Beginn der ersten uns zugänglichen archäischen Sedimentbildung durchgemacht haben mußte, damit überhaupt ein normales Sediment sich bilden konnte, kann man auch nicht einmal annehmen, daß *damals* allenfalls noch die erste Erstarrungskruste zutage gelegen hätte und undenudiert gewesen wäre. Die „ursprüngliche" Erstarrungskruste muß schon im unteren Archaikum, d. h. in jener Zeit, da das amerikanische Keewatin entstand, ihr ganzes Material zur Umsetzung abgegeben gehabt haben, damit letztere Formation — soweit sie nicht vulkanisch ist — sich bilden konnte. Außerdem ist „ursprüngliche Erdkruste" ein relativer Begriff. Wie ist deren Bildung überhaupt zeitlich abzugrenzen und wie dick war sie?

Wenn man will, war das Zeitalter der ersten Krustenbildung zu Ende in dem Augenblick, als auf ihr zum erstenmal Atmosphärilien tätig wurden und sie chemisch oder mechanisch angriffen; denn da begann die sedimentäre Gesteinsbildung. Dazu aber brauchte die Kruste nur so dick gewesen zu sein, daß sie allgemeinen, universellen magmatischen Überflutungen widerstehen konnte bzw. so dick und damit soweit an ihrer Oberfläche abgekühlt, daß sie überhaupt eine *mechanische* Arbeit von Atmosphärilien gestattete und nicht *nur chemisch* reagierte. Dabei ist es ganz einerlei, ob die ersten Niederschläge aus Wasser oder aus irgend einem anderen in der Atmosphäre suspendierten und leichter niederschlagbaren Stoff bestanden. Sobald jener Zustand einmal erreicht war, muß die Erdkruste — falls die innere Abkühlung überhaupt als Erstarrung sich äußert — bis zum heutigen Tage während der ganzen Erdgeschichte von innen her durch Abkühlung und Erstarrung des Magmas, also durch Anlagerung Zuwachs erhalten haben[1]). Dieser Zuwachs bedeutet immer noch „ursprüngliche" Er-

1) Diesen Gedanken spricht, wie ich nachträglich sehe, auch Sederholm aus: Sederholm, J. J., Om granit och gneiss. Deras uppkomst, uppträdande och utbredning inom urberget i Fennoskandia. Bull. Commiss. géol. de Finlande, No. 23. Helsingfors 1907 (m. engl. Resumé). Referat von Sederholm selbst im N. Jahrb. f. Min. usw. 1911, Bd. II, S. 62—64.

Digitized by Google

starrungskruste, und wenn uns heute der Nachweis gelingen sollte, daß wir irgendwo solche „ursprünglichen" Gesteine vor uns hätten, so hätten wir damit doch immer noch nicht die erste Erstarrungskruste im zeitlichen Sinn gefunden. Denn diese zeitlich erste Kruste gab ja sofort das erste Sedimentationsmaterial ab, sie und noch viel mehr dazu muß daher längst verarbeitet und abgetragen sein und mußte es schon zu Beginn der uns bekannten archäischen Zeit gewesen sein. Wenn es uns also trotzdem gelingen sollte, „ursprüngliche" Erstarrungsgesteine irgendwo stratigraphisch unter Urgebirge nachzuweisen, so wäre auch das nicht „ursprüngliche" Erstarrungskruste im zeitlichen Sinne, sondern später von innen her angelagertes erstarrtes Magma, das durch Denudation freigelegt wurde.

Vollends, wenn man mit Stübel auf dem Standpunkte steht[1]), daß durch die zwischen der ersten Krustenbildung und dem uns bekannten Archaikum erfolgten ungeheueren Magmaausflüsse sich eine mächtige Panzerdecke bildete, wird man überhaupt prinzipiell darauf verzichten, nicht nur die zeitlich erste, sondern auch eine spätere, von innen her angelagerte Primitivkruste je zu finden. Eher darf diese Erwartung von dem gehegt werden, der auf dem von Wegener vertretenen Standpunkte[2]) steht, daß eine leichtere salische Kruste schon primär bei der Erstarrung sich von einer schwereren simatischen getrennt habe. Denn dann könnte in der Tiefe der salischen Klötze ursprüngliche Kruste — wenn auch nicht die erste im zeitlichen Sinne — noch schlummern, nur wird es unmöglich sein, sie wegen der allgemeinen Metamorphose zu erkennen; auch sie ist Gneis geworden.

Wenn wir somit schon im älteren Archaikum einer Erdkruste begegnen, auf der sich nicht unbedeutende Gebirgsfaltungen abgespielt haben, ohne daß bei diesen Faltungen die Kruste zerrissen und innere Glutmassen in Fluten nach außen gelangt sind; wenn wir Sedimenten begegnen, die eine ursprüngliche Schichtung noch zeigen, so müssen wir annehmen, daß wir schon zu altarchäischer Zeit ungeheuer weit von einem noch älteren Zeitraume entfernt sind, in dem auch die Kruste noch so dünn gewesen war, daß Faltungen die inneren Glutschlünde auf ungeheuere Strecken hin freilegen mußten, und in dem von einer normalen Sedimentbildung im späteren Sinne noch keine Rede sein konnte. Den langen Zeitraum, den wir zwischen der ersten Krustenbildung und dem Eintritt normaler Wasserkreislaufs- und Sedimentationsbedingungen, die wir in den heute als archäisch bezeichneten metamorphosierten Ablagerungen repräsentiert finden, unbedingt annehmen müssen, wollen wir als Präarchaikum bezeichnen; den diesem Weltalter vorausgehenden Zeitraum aber, der zwischen der Bildung des ersten Krustenhäutchens und der Konstituierung einer definitiven, stabilen, wenn auch schlackigen Kruste liegt, könnte man Pyrarchaikum nennen. Es ist hier zu verweisen auf unsere späterhin noch zu begründende Anschauung, daß seit Beginn des uns bisher aus Gesteinen bekannten Archaikums zwar ungeheuere Zeiträume verstrichen sein mögen, daß aber alle seit jener Urzeit vor sich gegangenen geologischen Ereignisse

1) Stübel, A., Die Vulcanberge von Ecuador, geologisch-topographisch aufgenommen. Berlin 1897.

2) Vergl. das folgende Kapitel IV.

solche des äußersten salischen Krustenteiles sind, die gegenüher der Dauer und Stahilität des ganzen Erdkörpers doch nur wie Episoden anmuten.

Dana hat schon in früheren Jahren den Versuch gemacht, den etwas summarischen Begriff „Archaikum“ zu definieren und in verschiedene historische Abteilungen zu zerlegen[1]). Er unterscheidet im wesentlichen:

I. Die **Astral-Ära.** Zeitalter der Glutflüssigkeit.

II. Die **Azoische Ära.** Leben noch nicht vorhanden.

1. Zeitalter der bloßen Steinoberfläche (lithic era). Es hatte sich die erste solide Kruste gehildet. An der Oberfläche anfänglich eine Temperatur von etwa 2500° F. Alles Wasser in der Atmosphäre suspendiert, ebenso aller später an Kalkkarhonat, sonstige Gesteine und Organismen gehundene Sauerstoff und alle Kohlensäure. Die Bedingungen zu tangentialen Krustenbewegungen waren zum erstenmal gegeben, die Konfiguration der Oberfläche begann.
2. Ozeanisches Zeitalter (oceanic era). Beginn des Wasserniederschlages, Ansammlung in den ersten ozeanischen Depressionen, Scheidung von Wasser und Land. Temperatur um 500° F. Beginn der Erosion und Denudation, unterstützt durch energische Einwirkung der in der Atmosphäre noch vorhandenen Kohlensäure und des Sauerstoffes. Chemischer Niederschlag von Kalkstein und Eisenkarhonat, Anhäufung von Sedimenten mit unmittelbar folgender krystalliner Metamorphose. Entstehung der ersten sekundär gebildeten Gesteine (= „earth's supercrust“).

III. Die **Archäozoische Ära.** Leben in seiner ältesten Form.

1. Zeitalter der ersten Pflanzen. Nur Algen und Bakterien hei einer vermutlichen Anfangstemperatur von ca. 150° F. Kalkstein- und Kieselsäurebildung durch sekretierende Pflanzen. Chemische Bildung von Eisenkarbonat und Eisenoxyden durch die in Atmosphäre und Wasser noch enthaltene Kohlensäure geht noch weiter. Aufhäufung größerer Sedimentmassen, fortschreitende Verdickung der Erd-Superkruste.
2. Zeitalter des ersten tierischen Lebens. Temperatur auf ca. 115° F gesunken und endlich auf ca. 90° F und weniger. Kalkstein- (auch Kieselsäure-) Bildung durch Tiere. Niederschlag von Eisenkarhonat und -oxyden. Starke Sedimentanhäufung.

Nach der anschaulichen, allerdings ebenso stark spekulativen Darstellung E. Kaysers[2]) beginnt das archäische Zeitalter mit der endgültigen Bildung der ersten Erstarrungskruste und endigt mit dem

1) Dana, J. D., On subdivisions in Archaean history. Americ. Journ. Science Vol. XLIII, 1892, S. 455—462. — Manual of Geology, 5. Edit; New York 1896, S. 440—441.

2) Kayser, E., Lehrbuch der geologischen Formationskunde, 4. Aufl., Stuttgart 1911, S. 15ff.

Google

nachweisbaren Auftreten des Lebens. Den Zeitraum, den es einnimmt, mag man als vielmals länger ansehen denn jenen, der seit Beginn des Kambriums bis zur Jetztzeit verflossen ist. Man könne weiter das Archaikum theoretisch in zwei Hauptphasen teilen, in eine älteste anhydrische und eine jüngere ozeanische Periode. In jener war die Temperatur noch so hoch, daß alles Wasser in der dichten und wesentlich schwereren heißen Atmosphäre dampfförmig suspendiert, organisches Leben in unserem Sinne noch nicht möglich war. Die sich bildenden Gesteine mußten den Charakter der Eruptiva an sich tragen. Als nach genügend weit vorgeschrittener Abkühlung die ersten normalen Niederschläge vor sich gehen konnten, der Kreislauf des Wassers und die Erosion begann, bildeten sich in den Wasseransammlungen — in den Urmeeren — die ersten Sedimente. Da jedoch der Atmosphärendruck und die allgemeine Wärme noch groß, das Meerwasser daher selber warm und mit chemischen Substanzen überladen war, lasse sich mit Gümbel[1]) die Annahme vertreten, daß eine unmittelbar krystalline Sedimentbildung vor sich ging, der krystalline Charakter der archäischen Gesteinsgruppe brauche also nicht unbedingt einem späteren, nacharchäischen, metamorphosierenden Einfluß zugeschrieben zu werden. Zudem mögen die damals bei der relativen Dünne der Erdkruste häufiger durchbrechenden Eruptivmassen noch das Ihrige zur alsbaldigen Metamorphose eben erst gebildeter Gesteine beigetragen haben. Ob auch, wie Kayser es als möglich annimmt, dynamometamorphe Vorgänge durch energische Faltung der noch leichter verschiebbaren Erdkruste mitgewirkt haben, ist schwierig zu beurteilen und nicht recht wahrscheinlich, wenn man für jene Zeit eine noch dünne Erdkruste postuliert; denn dann hätten eintretende Gebirgsfaltungen solche Wunden gerissen, solche Massen von Magmen freigelegt, daß von einer Erhaltung der sedimentären Schichtstruktur, die wir ja im Archaikum nachweislich haben, nichtmehr hätte die Rede sein können. Wir wissen aber z. B. durch die Arbeiten von van Hise, daß nur ein Teil der archäischen Gesteine Einschmelzungsprodukte ursprünglich sedimentärer Schichten sind. Das wird u. a. erwiesen durch den allmählichen Übergang zwischen rein vulkanischem und rein sedimentärem Gestein, sowie durch die petrographisch-mineralische Vermischung und Infizierung reiner Vulkangesteine mit den unter ihrem Einfluß aufgelösten Massen benachbarter Sedimente.

Das, was wir oben als Präarchaikum bezeichnet haben, soll nun in keiner Weise mit irgend einem der Dana'schen Zeitalter parallelisiert werden und deckt sich auch nicht mit dem, was uns Kayser als archäische Zeit vorführt. Unser Begriff Präarchaikum ist entsprungen als Folgerung daraus, daß einerseits „ursprüngliche" Erdkruste weder im zeitlichen, noch im petrographischen Sinne in den heute als archäisch erkannten Massen vorhanden ist und daß andrerseits die Ablagerung der altarchäischen Sedimente einen Erdzustand voraussetzt, der weder jenem der ersten stabilen Krustenoberfläche entspricht, noch auch dem, was Dana azoische Ära nennt. Den Spekulationen über das Leben in seiner ältesten Form und über die Bedingungen, unter denen es stand, möchte ich nicht folgen, und von ihnen soll unser Begriff Präarchäikum ebenso unbeeinflußt bleiben, wie von den aus ihnen

1) Gümbel, C. W., Das ostbayerische Grenzgebirge. Kassel 1868, S. 833.

entspringenden Einteilungen in azoisches, agnotozoisches, eozoisches usw. Zeitalter.

6. Die Konstitution des Erdkörpers.

Die Erscheinung von Ebbe und Flut, veranlaßt durch die Anziehung des Mondes und in untergeordneter Weise auch durch die der Sonne, ist nur denkbar auf einem Erdkörper, der einen hohen Starrheitsgrad besitzt. Aus dem Zahlenmaterial über die 14tägigen und monatlichen Fluten verschiedener Häfen aus 33 Beobachtungsjahren hatte G. H. DARWIN erkannt[1]), daß die Fluthöhen um ein Drittel geringer sind, als sie sein müßten, wenn die Erde ein absolut starrer Körper und nur das Wasser auf ihr beweglich wäre. Der aus dieser Differenz sich ergebende Widerstandsgrad der Erdkruste gegen Formveränderung entspricht dem des Stahles — die Erde verhält sich gegenüber den Anziehungen des Mondes etwa so, als ob sie ganz aus Stahl bestünde. Auch außerordentlich komplizierte und feine, hier im einzelnen nicht wiederzugebende Untersuchungen mit dem Pendel, wobei es sich um Ausschläge von Millimeterbruchteilen handelte, die HECKER anstellte[2]), führten zu demselben Resultat. Es gibt noch mehrere andere Methoden, den Starrheitsgrad der Erde zu berechnen, und alle führten bisher zu demselben Ergebnis. Ihnen zu folgen ist mir allerdings nicht möglich; es sei nur angedeutet, daß auch die Nutation, d. i. die vom Monde erzeugte regelmäßige Polschwankung, welche EULER unter Annahme einer absolut starren Erde auf 305, CHANDLER auf 427 und KIMURA auf 436 Tage berechnet hatte, zu einer Ermittelung des Starrheitsgrades der Erde führte[3]). Der durch die Zentrifugalkraft[4]) infolge der Erddrehung nach dem Äquator hin erzeugte Wulst wird vornehmlich vom Mond derart angezogen, daß eine Verlegung der Stellung der Erdachse herbeigeführt wird in dem Sinne, daß dieselbe in 26000 Jahren einen Kegelmantel umschreibt; der Pol — das Ende der Achse — beschreibt also einen Kreis. Wird ein rotierender Kreisel aus seiner Gleichgewichtslage gebracht derart, daß seine Achse sich so verhält, wie die Erdachse in der beschriebenen Weise, so kehrt er allmählich wieder in die normale Ruhelage zurück, in der die Achse sich selbst parallel bleibt. Es muß somit die die Erdachse dauernd zum Durchlaufen eines Kegelmantels zwingende Kraft kontinuierlich wirken, sonst wäre die Erdachse längst wieder in ihre Ruhelage zurückgekehrt. Wenn nun die Erdachse nicht dauernd durch den idealen Pol geht, sondern durch einen um den idealen Pol gezogenen Kreis, so ändert sich damit im Laufe der Zeit natürlich auch die geographische Breite jedes Ortes auf dem Erdkörper. Aber nicht nur das: auch der äquatoriale Wulst muß sich infolge der Verlegung der Erdachsenrichtung anders, nämlich senkrecht zur neuen Lage einstellen, was leicht geschehen könnte, wenn die Erde flüssig wäre. So aber

1) DARWIN, G. H., Ebbe und Flut etc., S. 257.

2) HECKER, O., Beobachtungen an Horizontalpendeln über die Deformation des Erdkörpers unter dem Einfluß von Sonne und Mond. Veröff. Königl. Preuß. Geodät. Inst., N. F., No. 32, S. I—IV, Berlin 1907.

3) LALLEMAND, CH., Sur l'elasticité du Globe terrestre. Compt. rend. Acad. Sci., Tome CXLIX, II, Paris 1909, S. 336—338.

4) DARWIN, G. H., a. a. O. S. 241 ff.

hat sie eine gewisse Starrheit, sie wird etwas langsamer den Anforderungen der neuen Zentrifugalkraftverteilung folgen. Es hat sich auch hier durch genaue astronomische Untersuchungen von CHANDLER gezeigt, daß der Erdkörper etwas weniger nachgiebig gegen solche Formveränderungen ist, als wenn er aus Stahl bestünde (Riegheit der Erde).

Was das Erdinnere anbelangt, so hatte man bis vor kurzem nur ganz vage theoretische Vorstellungen von seiner Beschaffenheit. Die Tatsache, daß die Erde als Rotationssphäroid an den Polen abgeplattet ist, ferner die Erscheinungen des Vulkanismus und die Zunahme der Erdwärme um 1° bei etwa je 33 m Tiefe nötigten zu dem Schluß, daß sich in einer Tiefe von 50—100 km alle Gesteine in schmelzflüssigem Zustande befinden müßten. Mit dem nach innen wachsenden Druck, so dachte es sich GÜNTHER mit seiner Kontinuitätshypothese[1]), müßten die Massen gegen den Erdmittelpunkt hin immer erhitzter, damit flüssiger und schließlich gasförmig werden. Im innersten Kern sollten die Stoffe vermittels einer Zone überkritischen Gaszustandes in die Zentralsphäre einatomigen Gases übergehen, das im strengsten Sinne des Wortes als homogen zu betrachten wäre. Man habe sich zu denken, daß die Zonen kontinuierlich zusammenhingen, daß es zwischen ihren physikalischen Zuständen keine Trennungsflächen gäbe. Damit schien die bis dahin vornehmlich durch THOMSON vertretene Auffassung der Erde als eines starren festen Körpers beseitigt.

Man kann aber gegen diese ältere, in GÜNTHERS Schema ihren prägnantesten Ausdruck erreichende Ansicht vom Erdinnern mancherlei einwenden. Die Abplattung könnte — unter der Voraussetzung, daß sich die Stellung der Rotationsachse seit dem Zeitalter der ersten Krustenbildung nicht geändert hat — schon in jenem frühesten Abschnitt der Erdgeschichte erworben und bis heute beibehalten worden sein, auch wenn die Erde längst bis ins Innere hinein erkaltet und starr wäre, so daß die heutige Ellipsoidform kein zwingender Beweis für die heutige Schmelzflüssigkeit der Erde ist. Auch der aus der Zunahme der geothermischen Tiefenstufe gezogene Schluß begegnet schon längst Bedenken, weil er einen sozusagen nur in der alleräußersten Erdhaut beobachteten Zustand unzulässig verallgemeinert. Unser tiefstes Bohrloch mit über 2 km Länge entspricht einem Nadelstich von 2 mm Länge auf einer Kugel von 13 m Durchmesser[2]), der Wert der Beobachtungen über Wärmezunahme ist also höchst problematisch, denn wir können gar nicht wissen, ob die Gradientenreihe nach dem Erdinnern zu stetig ihren anfänglichen Charakter beibehält. Nach RUDZKI kann der geothermische Gradient mit der Tiefe wachsen und gleichzeitig kann sich die Temperatur entsprechend unter dem Schmelzgrad halten, weil die zum Schmelzen nötige Temperatur mit der Tiefe wegen des größeren dort herrschenden Druckes wächst[3]). Überhaupt kann nach den Gesetzen der Wärmeleitung die geothermische Tiefenstufe nicht konstant bleiben, und bisweilen hat man auch schon innerhalb der einzelnen Bohrlöcher eine Vergrößerung derselben, also eine

1) GÜNTHER, S., Handbuch der Geophysik, 2. Aufl., Bd. I, Stuttgart 1897, S. 357 ff.

2) WEBER, M., Die neueren Ansichten über das Erdinnere. Sep.-Abdr. aus dem Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt, herausgegeben vom Polytechn. Verein München 1910, S. 2.

3) RUDZKI, M. P., Physik der Erde, Leipzig 1911, S. 127.

Digitized by Google

Verlangsamung des Temperaturgefälles, mit zunehmender Tiefe erkennen zu können geglaubt. Während man früher dem Erdinnern außerordentlich hohe Temperaturen zuzuschreiben geneigt war, nimmt man gegenwärtig ziemlich allgemein an, daß die Temperaturzunahme in größerer Tiefe ganz aufhört und der Hauptteil der Erde eine nahezu gleichförmige Temperatur von etwa 3000° besitzt, ja viele Forscher sind geneigt, eine noch niedrigere Temperatur für wahrscheinlich zu halten[1]). Gegen den Vulkanismus als Beweismittel für das glutflüssige Erdinnere hat Günther seinerzeit selbst schon eingewendet, daß ein Aufsteigen des Magmas aus tieferen Zonen durch die der latenten Plastizität hindurch eine physikalische Unmöglichkeit sei, weil es der Natur der latent plastischen Zone widerspreche, von Spalten durchsetzt zu werden, daß also der Sitz der vulkanischen Erscheinungen höher liegen müsse und daß der Vulkanismus daher kein Beweismittel für den glühenden inneren Erdzustand sei.

Es entsprach ganz der logischen Entwicklung der Wissenschaft, daß in derselben Zeit eine alte, schon von Hopkins verfochtene[2]) Anschauung wieder zu Ehren kam, indem Stübel seine Theorie der intrakrustalen Magmaherde vortrug[3]), wonach das Erdinnere größtenteils verfestigt wäre, die Vulkane aber aus peripheren Feuerkissen gespeist würden, die sich in der dicken sogenannten Panzerdecke befänden. Die Panzerdecke aber sei entstanden durch das Austreten ungeheuerer vulkanischer Massen, welche sich nach Entstehung der ersten Abkühlungskruste oftmals über diese ergossen. So nahm die Panzerdecke allmählich an Mächtigkeit zu und besitze heute über 2000 km Dicke; in ihr hätten sich von den früheren Ausbrüchen her große Magmaherde erhalten und diese seien die Quelle der vulkanischen Eruptionen. Die im Erdinnersten allenfalls noch vorhandene Glut habe somit nichts mehr mit den Ausbrüchen an der Erdoberfläche zu tun. Daß auch mit dieser übrigens sehr beifällig aufgenommenen Theorie die Wertschätzung geothermischer Messungen stark herabgemindert werden mußte, ist selbstverständlich, weil damit außerordentliche Wärmedifferenzen in der Panzerdecke zu erwarten waren.

Schon lange hat sich durch die Berechnung des spezifischen Gewichtes der Erde gezeigt, daß die durchschnittliche Dichte der Kruste gegenüber dem auf verschiedenen Wegen ermittelten Gesamtwerte des Erdgewichtes viel zu gering ist, nämlich nur etwa 2,5 beträgt, während der Erdkörper als Ganzes etwa 5,57 hat. Das Innere muß also wesentlich schwerer sein als die Kruste und muß, wenn man auf 5,6 abgleicht, etwa dem spezifischen Gewichte des Eisens und Nickels entsprechen, so daß man zunächst auf diesem Wege zu der Annahme eines das Innere der Erde ausfüllenden Nickeleisenkernes mit einem Radius von 5000 km gelangte, der von einer etwa der Dichte des Granits entsprechenden, 1500 km dicken, hauptsächlich aus Silikaten bestehen-

1) Wegener, A., Die Entstehung der Kontinente. Peterm. Geogr. Mitteil., Jahrg. 58, Gotha 1912, S. 192.
2) Günther, S., a. a. O. S. 427.
3) Stübel, A., Ein Wort über den Sitz der vulkanischen Kräfte in der Gegenwart. Mitteil. d. Mus. f. Völkerkunde Leipzig, Abt. Länderkunde, 1901. Seine Theorie erörterte er schon 1897 in dem Werk „Die Vulkanberge von Ecuador". Berlin 1897.

den Schale umschlossen wäre, wobei jedoch ein Übergang stattfände[1]). Auch die Untersuchungen über die Präzession des Äquinoktialpunktes, sowie über die periodischen Schwankungen der Achse (Nutation), sowie über den Grad der Abplattung haben ergeben, daß das Erdinnere eine weit größere Dichte hat als die Kruste, und einen Analogiebeweis für diese Auffassung bilden bekanntlich die Meteoriten, welche man jetzt als die Stücke eines zersprengten Planeten unseres Sonnensystems auffaßt und die in den allermeisten Fällen aus Eisen bzw. Nickeleisen bestehen.

Wenn die Erde sich ursprünglich in glutflüssigem Zustande befand, woran doch nicht gut zu zweifeln ist, so wird man vermuten dürfen, daß sich die Stoffe von vornherein mehr oder minder nach ihrer Schwere geordnet haben, so daß also die Schwermetalle schon aus diesem Grunde im Innersten der Erde zu suchen sind. Rudzki macht jedoch darauf aufmerksam, daß diese Folgerung nur bis zu einem gewissen Grade richtig ist[2]), weil das Magma den Charakter einer gemischten Lösung hat, in der spezifisch schwerere Stoffe in leichteren aufgelöst sind; auch der Wechsel zwischen bald schwereren, bald leichteren, in ein und demselben Gebiete ausgeworfenen Laven verwehre eine allzu schematisierende Auffassung der Stoffanordnung im Erdinnern. Auch sei es fraglich, ob die relativen Dichten der Stoffe im Erdinnern unter dem hohen Druck denen der gleichen Stoffe an der Erdoberfläche entsprechen. Es könne sehr leicht geschehen, daß bei dem Druck einer Atmosphäre der Körper *A* eine größere Dichte besitze als der Körper *B*, aber bei 100000 Atmosphären umgekehrt *B* dichter als *A* sei. Indessen darf doch darauf hingewiesen werden, daß die Wahrscheinlichkeit eines praktisch so gut wie vollständigen Ausgleiches der Stoffe innerhalb der einzelnen Schwerezonen außerordentlich groß ist, nicht nur deshalb, weil die theoretischen Untersuchungen Wiecherts und die Ergebnisse der Seismologie hierfür sprechen, sondern weil Stoffe im flüssigen Zustande eine um so größere Diffusionstendenz haben, als sie, wie Reade an Metallen nachgewiesen hat[3]), sogar im festen Zustande diese Neigung besitzen.

Es ist hier für uns von keiner besonderen Wichtigkeit, zu entscheiden, ob der Erdkern nur deshalb ein so hohes spezifisches Gewicht zeigt, weil er aus Schwermetallen besteht, oder weil die Stoffe unter dem dort herrschenden außerordentlichen Druck auf die größtmögliche Dichte zusammengepreßt sind. Aber wichtig für uns ist die Entscheidung der Frage, ob von der relativ leichten Erdkruste mit dem spezifischen Gewicht von etwas weniger als 3 eine kontinuierliche oder diskontinuierliche Dichtezunahme nach dem Erdinnersten, für das wir etwas über 7 annehmen müssen, stattfindet.

Wiechert argumentiert[4]) für das letztere. Er führt den Dichtenunterschied auf das Material selbst, nicht auf den Druck zurück. „Wir müssen in den Molekülen sehr widerstandsfähige Dinge sehen, die in

---

1) Linck, G., Artikel „Erde" im Handwörterbuch der Naturwissenschaften, Bd. III, Jena 1913, S. 710—712.

2) Rudzki, M. P., a. a. O. S. 100.

3) Reade, T. M., The evolution of earth structure with a theory of geomorphic changes. London 1903. (Nach Referat.)

4) Wiechert, E., Über die Massenverteilung im Innern der Erde. Nachr. Königl. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1897, S. 222.

den festen Körpern schon unter gewöhnlichen Druckverhältnissen wegen der wechselseitigen Kräfte so enge aneinanderliegen, daß eine erhebliche Kompression durch Druck nicht mehr stattfinden kann." Darum erscheine es richtiger, „die Dichteunterschiede in der Erde durch Materialverschiedenheiten zu erklären". Nun sind aber die in der Erdkruste zum Aufbau verwendeten Gesteine durchschnittlich nur so dicht, wie Granit; wir brauchen aber, wie schon erwähnt, zum Ausgleich auf ein spezifisches Gesamtgewicht der Erde von rund 5,6 Stoffe von der Dichte über 7. Dafür kommen nur Metalle in Betracht. Die Erde enthält also nicht nur einen Metallkern schlechthin, sondern da zwischen den die Erdkruste hauptsächlich zusammensetzenden Gesteinen und andererseits den Metallen ein ganz gewaltiger Sprung in der Dichte — nämlich von rund 3 auf rund 7 — vorliegt, so schließt Wiechert daraus, „daß an der Grenze des Kernes sehr wahrscheinlich ein jäher Sprung der Dichte stattfindet".

Nach den Darlegungen von Wiechert befindet sich ferner die Erdkruste im Zustande des hydrostatischen Gleichgewichtes. Im Laufe der geologischen Epochen hat eine stets wechselnde Massenverteilung durch Auflagerung neuer und Wegführung vorhandener Gesteinsmassen stattgefunden, Gebirge haben sich gebildet und sind denudiert worden. Die dabei vor sich gegangene Gewichtsumlagerung läßt sich ermessen, wenn man in Betracht zieht, daß die Mächtigkeit der sedimentären Gesteine rund 2500 m beträgt. Trotzdem ist eine irgendwie bemerkenswerte Gleichgewichtsstörung in der Erdrinde jetzt offenbar nicht vorhanden, es müssen sich also die Massenverlagerungen beständig ausgeglichen haben durch Hebungen und Senkungen nach dem Gesetze der Isostasie. Das aber ist nur möglich, wenn über dem sich gegen Formveränderungen starr wie Stahl verhaltenden Erdinnern eine feuerflüssige Zone folgt, wenn also „unter der festen Erdrinde stets eine plastische Unterlage vorhanden war, auf der die Rinde schwimmend ruhte, so daß die Massenumlagerungen sich durch Hebungen und Senkungen der Erdrinde wieder ausgleichen konnten".

Man muß bedenken, daß diese Darlegungen gemacht wurden, ehe die junge Wissenschaft der Seismologie aufgeblüht war und durch Vervollkommnung ihrer Methoden zu brauchbaren Seismogrammen und durch deren zuverlässige Analyse zur Deutung des Erdinnern gelangt war. Nunmehr hat sie uns aber zu einem Einblick in den Bau der Erde verholfen, womit alle Spekulationen überflüssig, die Anschauungen Wiecherts aber in allem Wesentlichen gerechtfertigt worden sind.

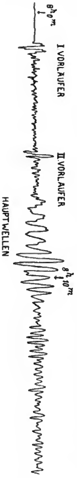
Die aus großer Entfernung an einer Station einlaufenden Seismogramme[1]) zeigen sich in typischen Fällen aus dreierlei Erschütterungssymbolen zusammengesetzt, wie die beifolgende Fig. 13 es veranschaulicht. Sie beginnen, nachdem der Seismograph in Ruhe war, mit einigen unvermittelten Ausweichungen, denen eine größere Anzahl feiner Erschütterungen folgt. Es ist der I. Vorläufer des Bebens, von etwa 5 Minuten Dauer. Dann folgen abermals einige größere Ausschläge mit daran anschließenden schwächeren Erschütterungen: der

1) Pockels, F., Die Ergebnisse der neueren Erdbebenforschung in bezug auf die physikalische Beschaffenheit des Erdinnern. Geol. Rundschau, Bd. I, Leipzig 1910, S. 249—268.

Digitized by Google

II. Vorläufer, welcher etwas kürzere Dauer als der I. hat. Dann folgen die Hauptwellen mit Amplitudengrößen, die jene der Vorläufer weit übertreffen, und dann kommt die Schlußperiode, die Nachläufer, deren Zittern stundenlang währen kann.

Was bedeutet jene Dreigeteiltheit des Seismogrammes? Aus Berechnungen über das Verhältnis von Fortpflanzungszeit und Entfernung des Erdbebenherdes ergibt sich, daß die Fortpflanzungszeit der Hauptwellen proportional der längs der Erdoberfläche gemessenen Entfernung zwischen Epizentrum und Empfangsstation ist. Es müssen sich demnach die Hauptwellen längs oder wenigstens in den **äußersten** Schichten der Erdrinde fortgepflanzt haben. Für den I. und II. Vorläufer wächst die berechnete Fortpflanzungszeit langsamer als die Entfernung zwischen Herd und Empfangsstation und daraus folgt, daß die Vorläufer Erschütterungen sind, die sich nicht auf dem **weiteren** Wege längs der Erdoberfläche, sondern durch das **Erdinnere** fortpflanzen. Es erklärt sich dies folgendermaßen: Vom Hypozentrum aus erfolgt die Fortpflanzung der Wellen nicht konzentrisch, sondern nach dem Erdinnern zu rascher, so daß die vom Bebenherde ausgehenden Stöße relativ umso schneller am Beobachtungsort ankommen, je weiter diese beiden Punkte auseinanderliegen. Eine Analyse der Wellen ergibt, daß die des I. Vorläufers longitudinal schwingen, weil die Vertikalkomponente umso größer wird, je weiter entfernt der Bebenherd, also je senkrechter die durch das Erdinnere herankommenden Stöße auftreffen; je näher der Bebenherd, umso geringer der Ausschlag der **Vertikalkomponente**, denn umso spitzer der Auftreffwinkel. Die Wellen des II. Vorläufers verlaufen transversal, was einen umso größeren Ausschlag der **Horizontalkomponente** am Apparat bewirken muß, je weiter der Bebenherd entfernt ist. Wird irgendwo in einem homogenen Körper eine Erschütterung erzeugt, so entstehen beide Arten von Wellen und breiten sich von dem gemeinschaftlichen Zentrum unabhängig voneinander aus. Sie haben aber eine verschiedene Geschwindigkeit und trennen sich um so weiter voneinander, je größer ihre Entfernung vom Erregungszentrum wird. So erklärt sich das zweimalige Eintreffen von Vorläufern.



Figur 13.

Die Hauptwellen endlich bestehen aus einer reinen Transversalkomponente mit horizontaler Schwingungsrichtung und einer solchen, deren Schwingungen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung elliptisch verlaufen. Letztere, die sogenannten Rayleigh-Wellen, entstehen dann, wenn das Erschütterungszentrum sehr nahe bei der Oberfläche des erschütterten Körpers — hier also der Erde — liegt. Erstere, die Trans-

versalwellen, sind als Oberflächenwellen nur möglich, wenn sie sich in einer auch nach unten von einer frei beweglichen Oberfläche begrenzten dünnen Kugelschale fortpflanzen können, nicht aber auf einer einheitlichen festen Kugel.

Was nun den Verlauf der Erdbebenstrahlen im Innern der Erde betrifft, so hat sich auf Grund bestimmter Krümmungen bzw. Abweichungen, die sie von der einfachen geraden Richtung erleiden, gezeigt, daß die Erde kein homogener Körper ist; und da wir es mit zwei verschieden laufenden Wellenarten zu tun haben, so ist diese Inhomogeneität dahin zu deuten, daß für die. I Vorläufer die Strahlenkrümmung sich bei 1520 km Tiefe, für die II. bei 1400 km plötzlich ändert. Diese Grenze besitzt also physikalische Realität, beide Punkte fallen ja nahezu zusammen. Weiter zeigte sich, daß die unterhalb jener Grenze verlaufenden Strahlenstücke im ganzen geradlinig sind, daß also der Kern der Erde sich wie ein homogener Körper verhält. An der Grenze des Kerns findet, wie gesagt, eine Krümmung, aber keine Brechung der Stoßstrahlen statt und deshalb hat man diese Außengrenze bei rund 1450 km Tiefe nicht als eine räumliche anzusehen, sondern bei ihr ist die von oben nach unten zunehmende Anreicherung rein metallischen Nickeleisens vollständig geworden und von da an hört eine Änderung der physikalischen Eigenschaften eben auf. „Die Grenze von Kern und Mantel der Erde ist nicht eine Unstetigkeitsfläche für die physikalische und chemische Beschaffenheit selbst, sondern nur für deren Änderung mit der Tiefe.“ Eine Unstetigkeitsfläche dagegen existiert unmittelbar unterhalb der Kruste, denn wir sahen oben, daß die Transversalwellen nur in einer auch nach unten beweglichen Erdkruste denkbar sind, und das führt zu dem Schluß, daß eine verhältnismäßig dünne feste Erdrinde auf einer flüssigen Magmaunterlage schwimmt.

Gegen diese letztere, für den Paläogeographen äußerst wichtige Folgerung. die auch aus anderen Gründen annehmbar erscheint, läßt sich jedoch einwenden, daß transversale Vorläuferwellen nicht durch das Erdinnere hindurchgehen können, weil die Flüssigkeit der Magmazone dies verbiete. Allerdings könnten Transversalschwingungen von kurzer Periode hindurchgehen, wenn man das Magma als genügend zähe annehme; das hätte aber wieder zur Folge, daß die Grenzfläche der festen Kruste gegen die Magmazone nicht in horizontaler Richtung frei beweglich gedacht werden könne. Ich glaube aber, diese Bedenken lassen sich ausgleichen durch den Hinweis auf das Starrheitsverhalten des Erdkörpers, von dem oben die Rede war. Wir haben das Recht, anzunehmen, daß das Erdinnere hauptsächlich aus Nickeleisen besteht, und zwar nicht nur chemisch, sondern daß es sich auch physikalisch so verhält. Wir wissen aber auch, daß die Erdaußenzone aus spezifisch sehr viel leichteren Massen aufgebaut ist, die gewiß keine Schwermetalle sind, und trotzdem verhält sich die ganze Erde, also auch die Kruste, astronomischen Beeinflussungen und Formänderungsversuchen gegenüber etwa wie Stahl. Das kann nur sein, wenn auch die der Erdkruste untergelagerte Magmazone trotz ihrer Zähflüssigkeit sich ebenso verhält. Sie muß sich also in einem ganz eigentümlichen, an der Erdoberfläche uns unbekannten physikalischen Zustande befinden, indem sie einerseits zähweiche Konsistenz, andererseits Stahlstarrheit gegen Formveränderung zeigt. Aus diesem Zustande heraus würde sich

Digitized by Google

dann auch erklären, warum sie einerseits Transversalwellen wie ein fester Körper durch sich hindurchgehen läßt, andrerseits vielleicht eine horizontale Verschiebbarkeit der Kruste über sich erlaubt.

Im wesentlichen sind also durch die seismologischen Forschungen[1]) die früher von Wiechert angestellten Berechnungen und seine darauf gegründeten Anschauungen von der Konstitution des Erdinnern bestätigt worden. Nur bezüglich des jähen Sprunges, der zwischen der Außenseite des inneren Nickeleisenkernes und der Steinschale bestehen sollte, ist nach Pockels Darstellung eine Anschauungsänderung dahin vorzunehmen, daß an jener Grenzfläche der Übergang aus dem Steinmagma in die reine Metallzone vollständig geworden ist und darum von dieser Stelle ab nach innen jede stoffliche Veränderung aufhört.

1) Oldham, R. D., The constitution of the interior of the earth, as revealed by earthquakes. Quart. Journ. Geol. Soc. London 1906, Vol. LXII, S. 456—473. Second Comm.: Some new light on the origin of Oceans. Ibid., 1907, Vol. LXIII, S. 344—350. Auch er nimmt eine Grenze in der Tiefe von ungefähr ¼ Radiuslänge, und zwar bei etwa 1595 km an; allerdings macht er einen Unterschied zwischen der pazifischen und atlantischen Region, deren Entstehung ja auch keineswegs einheitlich ist, wie der Geologe längst weiß.

IV. Die Polverlegungen und die horizontalen Krustenbewegungen.

1. Definition des Begriffes Polverlegung.

Zweierlei Arten von Polverschiebung sind a priori denkbar: 1. Eine einheitliche Drehung des ganzen Erdkörpers, also eine Verlagerung der Rotationsachse mit dem Erdkörper, der sich hierbei wie eine homogene Kugel verhalten würde; 2. der soeben besprochene Fall einer Hinwegbewegung der festen Kruste über die flüssige Zone oder den festen Kern, wobei sich der Pol geographisch, nicht astronomisch verschieben würde. Wir nennen daher die erstere eine absolute, die letztere eine relative Polverschiebung.

Aber auch bei der absoluten existieren zweierlei Möglichkeiten: es kann sich um ein Hin- und Herpendeln der Erde um die konstant bleibende ideale Rotationsachse handeln oder um eine dauernde Änderung des Winkels, den diese zur Erdbahn bildet und der momentan etwas über 66° beträgt. Den ersteren Fall kennen wir als regelmäßig-periodische Erscheinung, nämlich als Nutation infolge der Mondanziehung. Sie besteht in einem Kreislauf der Pole, wobei die Erdachse im Verlaufe von ca. 26000 Jahren einen Doppelkegel beschreibt. Diese Nutation selbst zeigt wieder speziellere periodische Schwankungen, und diese feinsten Störungen der Achsenstellung scheinen, zunächst wenigstens, die bekannten minimalen jährlichen Breitenänderungen zu sein.

Es ist klar, daß eine dauernde Verlegung des Pols, also der Rotationsachse um einen größeren Betrag nur denkbar wäre durch gewaltsame Beeinflussung des ganzen Erdkörpers etwa von seiten eines nahekommenden Sternes, wofür wir aber bis jetzt gar keinen Anhaltspunkt haben. Dieselbe Wirkung würde das Loskommen eines Teiles der Erdkörpermasse haben können. Für einen solchen Vorgang liegen aber für die von der historischen Geologie überschaute Zeit gleichfalls keine Anhaltspunkte vor; die oben behandelte Mondloslösung muß sich schon in einer der Glutflüssigkeitsepoche noch näher liegenden Zeit abgespielt haben. Da ferner das Archaikum eine unendlich lange Zeit gewesen ist, in der sich eine allenfalls bei der Mondablösung entstandene Achsenschwankung längst ausgeglichen haben muß, so dürfen wir mit den Nachwirkungen dieses Ereignisses im Algonkium oder gar in paläozoischen Zeiten schon nichtmehr rechnen. Andrerseits ist aber auch die Möglichkeit nicht außer acht zu lassen, daß im Paläo-, Meso- und älteren Känozoikum sehr wohl stärkere Störungen in der Lage der Rotationsachse aus sonstigen Ursachen vorhanden gewesen sein können,

ohne daß uns die Astronomen hier etwas Entscheidendes sagen könnten, weil deren Berechnungen doch nur für einen Zeitraum bis höchstens hunderttausend Jahre Gültigkeit beanspruchen dürfen; etwaige frühere Störungen können sich längst ausgeglichen haben und somit von den auf jetzige astronomische Zustände basierten Berechnungen nichtmehr ergriffen werden. Die Sache liegt deshalb eher so, daß der Paläogeograph hier nicht vom Astronomen Aufschluß erhält, sondern daß möglicherweise der Nachweis bestimmter geologischer Ereignisse und paläogeographischer Zustände umgekehrt den Astronomen zwingen werden, Polverschiebungen anzunehmen und daraus auf entsprechende frühere Beeinflussungen zu schließen, die seinen Berechnungen an und für sich unzugänglich blieben.

Wir haben aber Gründe genug, für frühere Zeiten veränderte Pollagen, besser gesagt veränderte Lagen jenes Punktes der Erdoberfläche anzunehmen, wo heute der Pol liegt, wenn auch das Ausmaß dieser Ortsverlegung sich gewiß nicht in so weiten Grenzen bewegt hat, wie das etwas phantastisch in neuerer Zeit gelegentlich ventiliert, ja von einer Seite sogar ganz speziell ausgeführt worden ist[1]).

Sichere, d. h. unmittelbar beobachtete, jetztzeitliche Polverschiebungen sind die vorhin schon erwähnten minimalen jährlichen Breitenänderungen, die für die Jahre 1899—1910 in beifolgender Fig. 14 veranschaulicht sind. Der auf die Längengrade entfallende Komponent wird aus der Bewegung der Atmosphärilien, also aus den durch die Verdunstung und die Niederschläge veranlaßten Massenverlegungen auf der Erdoberfläche erklärt[2]). Durch diesen Massentransport verlegt sich angeblich der Schwerpunkt der Erde um einen geringen Betrag, aber nach den Gesetzen der Kreiselbewegung sucht sich die Störung wieder auszugleichen, was nie ganz gelingt, weil die Ursache immer wieder von neuem, wenn auch stets verschieden wirkt. Aus diesem, nur teilweise sich vollendenden Ausgleich und der stets wieder störend eingreifenden Atmosphärilienverteilung, die sich nicht absolut gleichbleibt und auch nicht stets genau zur selben Zeit des Jahres wirkt, entsteht dann teilweise die wirre Figur, deren übrige Komponenten noch nicht ursächlich ermittelt sind. So stellt man sich bisher den Mechanismus vor und nimmt damit stillschweigend die Erde als einen einheitlichen, in seinen Einzelteilen starr verbundenen Körper.

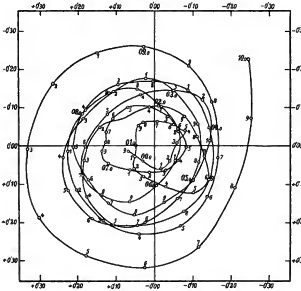
Wir kennen aber aus der Erdgeschichte auch gewaltige Lageveränderungen schwererer Massen, als es die Atmosphärilien sind, nämlich die Sedimentbildung, entstanden aus der im Zusammenhang mit kontinentalen Hebungen und Senkungen stets erneut wirksam gewordenen Denudation. Die Abtragung eines Hochgebirges ist eine solche Massenverlagerung und seine Entstehung aus Überfaltungen und Überschiebungen ebenfalls. Auch die großen Eisansammlungen im Kambrium, im Perm und im Quartär sind dazu zu rechnen. Wenn nun heutzutage die Atmosphärilien den Schwerpunkt der Erde angeblich zu verlegen, den Pol um einige Meter aus seiner Lage zu rücken vermögen, so sollte man denken, es müßten dies die vorgenannten geologischen Erscheinungen ebenfalls innerhalb gewisser Grenzen vermocht haben. Das ist aber jedenfalls nur in ganz beschränktem Maße

1) Kreichgauer, D., Die Äquatorfrage in der Geologie. Steyl 1902.
2) Spitaler, R., Periodische Verschiebungen des Schwerpunktes der Erde. Sitz.-Ber. d. Wiener Akad. d. Wiss., Bd. CXIV. 1905, S. 695—710.

Digitized by Google

der Fall gewesen. Sie hätten größere Verlegungen dann bewirkt, wenn sie plötzlich, d. h. innerhalb einer ebenso kurzen Zeitspanne vor sich gegangen wären, wie dies bei der jährlichen Niederschlagsverteilung geschieht. Da jene Massenverlagerungen aber sich unendlich viel langsamer abspielen, so ist ihre Gewalt von Augenblick zu Augenblick nicht groß genug, um die Rotationsachse zu verlegen.

Gehen wir nun von einem bestimmten, beliebig gewählten Zeitpunkte, im Mesozoikum etwa, aus und nehmen wir an, daß damals die Rotationsachse wesentlich sich im Gleichgewicht befand und jährlich nicht mehr gestört war als heutzutage. Zwischen diesen beiden Zeitpunkten liegen nun alle die Massenverlagerungsvorgänge, welche sich



Figur 14.

als Land- und Meereswechsel, Denudation und Sedimentation, Gebirgsbildung und Eisansammlungen kurz charakterisieren lassen. Ist nun die Erde heute im Gleichgewicht und gingen, wie wir vorhin feststellten, diese Umlagerungen so langsam vor sich, daß die Rotationsachse nie aus ihrem Fixpunkt mehr abgetrieben wurde als derzeit, dann bleibt nur der Schluß übrig, daß die durch jene Massenverlagerungen im ganzen notwendig gewordene Gewichtsausgleichung nicht durch Verlagerung der Rotationsachse, sondern durch entsprechende Verschiebungen der Kruste oder einzelner Krustenteile über dem Magma erzielt wurden[1]).

1) Eine Nebenbemerkung sei gestattet: Die jährlichen Polschwankungen sind am Monde noch nicht beobachtet worden. Sie müßten auch dort entsprechend auftreten bzw. sich in bestimmten Bewegungen äußern, wenn der Erdkörper als

Ziehen wir das oben dargelegte Verhältnis von Erdkruste zu Erdinnerem in Betracht und bedenken wir, daß das Schollenmosaik, also die Kruste und ihre Teile, sich auf der Magmazone bewegen können, weil sie sowohl einzeln, wie als Ganzes auf oder z. T. etwas in ihr schwimmen, dann ist damit die relative Polverschiebung praktisch möglich, wobei der allenfalls noch so geringe Betrag, den sie im einzelnen erreicht, am Prinzip der Sache nichts ändert. Auch die kleinsten Beträge können, wenn sie sich gleichsinnig summieren, zumal bei der Länge der zur Verfügung stehenden Zeiträume im Endeffekt zu weitausgreifenden Verlegungen führen. Da die Erdkruste ihrem spezifischen Gewichte, wie ihrer Masse nach nur ein ganz geringer Teil, sozusagen nur eine Haut des Erdkörpers ist, so läßt sich eine solche Verschiebung ohne Lageveränderung der Rotationsachse der Erdkugel denken, die der Astronom nicht so leicht in dem großen Ausmaße zugeben wird, wie der Geologe sie bräuchte.

Wir haben jetzt also eine Polverschiebungsart kennen gelernt, deren sich der Geologe bedienen kann, ohne daß er eine dauernde Verlegung der Rotationsachse postulieren muß, die in größerem Ausmaße ihm der Astronom ohnehin nicht konzediert. Gewiß wird auch die bei der Verschiebung des Steinmantels über dem Kern verursachte Gewichtsverlegung zu kleinen Schwankungen der Rotationsachse führen. Aber diese minimalsten Schwankungen der Rotationsachse gleichen sich bald wieder aus, und zwar sofort, während die Bewegung des Steinmantels über den Kern langsam weitergeht.

Aber auch unter den für unsere weiteren Betrachtungen nun in Anspruch zu nehmenden relativen Polverlagerungen müssen wir wieder zwei Arten auseinanderhalten: 1. Drehungen des Steinmantels als eines Ganzen über dem Kern; 2. ungleichartige gegenseitige Verschiebung der einzelnen Schollen des in sich nicht homogenen Steinmantels. Im ersteren Falle bedeuten jedenfalls die für den Paläogeographen in Betracht kommenden Polverlegungen nichts anderes, als die allmähliche Herbeischiebung immer anderer Punkte der Erdoberfläche unter den Rotationspol, der seine absolute Lage beibehält. Finden wir beispielsweise, wie es vielleicht für die diluviale Eiszeit oder das Tertiär in Betracht kommen könnte, eine Verschiebung der Klimazonen im ganzen, wobei diese ihre absolute Lage zueinander beibehielten und nur relativ zum Pol verlegt erscheinen, dann liegt die Annahme nahe, daß sich der Steinmantel als Ganzes verschoben hat; der Betrag wird nie allzugroß sein, wie überhaupt für die Paläogeographie und -klimatologie kein Grund vorliegt, bis jetzt relative Polverlegungen, also Drehungen des Steinmantels von mehr als 25° zu fordern. Es bleibt noch zu besprechen die zweite Art von relativer Polverschiebung, nämlich die, daß einzelne Krusten- bzw. Kontinentalschollen für sich allein ihre relative Lage zum Rotationspol ändern.

Ganzes infolge der wechselnden Atmosphärilienverteilung schwankte. Sollte das nicht ein Hinweis darauf sein, daß die jährlichen Polverlegungen nur Krustenverschiebungen über dem Erdkerne sind, die wegen der relativen Unbedeutendheit des Krustengewichtes keine am Zustande des Mondes praktisch bemerkbare Attraktionswirkung ausüben?

2. Kontinentalverschiebungen und Polverlegung.

Wir haben bisher die Möglichkeit relativer Polverlegungen erörtert unter der Voraussetzung, daß eine zäh magmatische Zone zwischen Nickeleisenkern und fester Kruste sich einschiebt, so wie es die früheren Berechnungen von Wiechert und später die Seismologie uns an die Hand gegeben hatten. Wir haben uns ferner zu der Anschauung bekannt, daß die geringen jährlichen Polschwankungen ihrem wahren Wesen nach nicht Schwankungen des ganzen Erdkörpers seien, der sich dabei als Einheit verhalten würde, sondern daß sie Verschiebungen des Steinmantels über dem Magma bzw. dem Nickeleisenkerne entsprechen. Einen Beweis für das ungleichsinnige Verhalten beider erblicken wir u. a. auch in der Tatsache, daß der Nickeleisenkern eine andere Abplattung hat als der Steinmantel, und in der weiteren Tatsache, daß der magnetische Pol nicht mit dem geographischen zusammenfällt.

Wenn, woran nicht mehr gezweifelt werden kann, eine plastische Zone zwischen den erhärteten Teil des Steinmantels und den Nickeleisenkern sich einschaltet, dann muß ersterer um den letzteren sich verschieben können. In welcher Weise, das wurde soeben anschaulich zu machen versucht. Wir werden aber sogleich sehen, in welcher Weise noch die genannte andere Art relativer Polverlegung denkbar ist, nämlich die, daß einzelne Schollen sich allein bewegen, um eine zum Pol veränderte Lage einzunehmen.

In ein neues Stadium ist die auch schon von anderer Seite vielfach behandelte Krustenverschiebungs- und damit die Polverschiebungsfrage durch die geistvolle Synthese Wegeners getreten[1]), welcher gewaltige horizontale Verschiebungen der Kontinente nachweisen zu können glaubt. In kleinerem Ausmaße existieren solche derzeit wohl zwischen Grönland und Nordeuropa. Auf der Sabine-Insel an der grönländischen Ostküste wurden Längenmessungen in den Jahren 1823, 1870 und 1907 vorgenommen, wobei sich mit größter Wahrscheinlichkeit der Abstand um etwa 950 m, pro Jahr also um 11 m, vermehrt hat. Auch Nordamerika, wofür durch die Kabelverlegungen genauere Messungen vorliegen, entfernt sich, wenn auch in geringerem Maße, von Europa. Nach den Längenaufnahmen von 1866, 1870 und 1892 würde es sich um eine jährliche Entfernungszunahme von 4 m handeln. Wenn sich solche Resultate noch weiterhin ergeben sollten, so wäre dies eine exakte Begründung für folgenden von Wegener entwickelten Gedankengang.

Er macht den Versuch, „die Großformen der Erdrinde, d. h. die Kontinentaltafeln und die ozeanischen Becken durch ein einziges umfassendes Prinzip genetisch zu deuten, nämlich das der horizontalen Beweglichkeit der Kontinentalschollen."

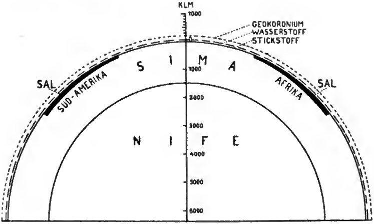
Suess teilte den Steinmantel der Erde in zwei Zonen ein[2]). Die uns bekannten Gesteine gehören zwei verschiedenen Typen an, soweit sie nicht gewöhnliche Sedimente sind: gneisartige Urgesteine, die den Untergrund der teilweise von Sedimenten bedeckten Kontinente

---

1) Wegener, A., Die Entstehung der Kontinente. Geol. Rundschau, Bd. III, Leipzig 1912, S. 276—292; ferner unter dem gleichen Titel in Peterm. Geogr. Mitteil., Gotha, 1912 Bd. I, S. 185—195; 253—256; 306—309.

2) Suess, E., Das Antlitz der Erde, Bd. III, 2, Wien u. Leipzig 1909. S. 626.

bilden; sie bestehen vorzugsweise aus Silicium und Aluminium, während die andere Hauptgesteinsgruppe vorwiegend aus Silicium und Magnesium besteht und vulkanischer Natur ist. Aus den Anfangsbuchstaben der Komponenten beider Kategorien (Si-Al, Si-Ma) bildet er die Worte Sal und Sima. Da die Kontinente aus salischem Gestein vorzugsweise bestehen, liegt für Wegener der Gedanke nahe, daß das spezifisch schwerere Sima den Boden der Ozeane bildet (spez. Gew. des Sal 2,5—2,7; spez. Gew. des Sima 3,0—3,3). Den aus Nickel und Eisen bestehenden Kern nennt Suess Nife (Ni-Fe). Wegener entwirft auf Grund dieser Vorstellungen über die Konstitution des Erdkörpers, die wir ja größtenteils schon oben (S. 81ff.) besprachen, beifolgendes Schema (Fig. 15) eines Erddurchschnittes, geführt auf einem größten Kreise durch Südamerika und Afrika. Gebirgserhebungen und ozeanische Tiefen können, da sie im Verhältnis so gering sind, daß sie noch in den Umgrenzungsstrich der Kruste fallen, vernachlässigt werden.



Figur 15.

Es gibt, sagt Wegener, auf der Erdkruste zwei bevorzugte Niveaus, nämlich die Oberfläche der Kontinente mit 700 m über und den Boden der Tiefsee mit 4300 m unter dem Meeresspiegel; die niedrigsten Teile der Kontinentaltafeln, die Schelfe, reichen zuweilen noch bis 500 m unter den Meeresspiegel. Wir wissen, daß unter den Ozeanen der Massendefekt ausgeglichen ist und daß sich der Steinmantel der Erde im wesentlichen im isostatischen Gleichgewicht befindet. Wegener lehnt die Vorstellung ab, daß auf einem schwereren Magma die spezifisch leichtere Kruste schwimme, die unter den Kontinenten dick, unter den Ozeanen dünner sei; er nimmt vielmehr an, daß die Kontinente in eine schwerere Materie eingebettete Bruchstücke der Lithosphäre seien, in der sie, nach Art der Eisberge im Meere, eintauchen. Aus Gründen der Isostasie und auf Grund von Pendelmessungen muß man den Kontinentalschollen eine durchschnittliche Mächtigkeit von 100—120 km zu-

schreiben. Nimmt man 100 als Mittelwert, so wird, weil den wechselnden Seehöhen an der Oberfläche aus isostatischen Gründen auch eine wechselnde Mächtigkeit der Schollen entsprechen dürfte, an manchen Stellen die Mächtigkeit der Kontinentaltafel nur 50, an anderen bis 200 km betragen.

Denkt man sich die Sedimente weggenommen, so müßten nach dem Gesetze der Isostasie (vgl. Kapitel V) die Kontinentalschollen um soviel emporsteigen, als die Abtragung beträgt. Wir lassen dabei, um dem Gedankengange Wegeners zu folgen, unsere weiter unten vertretene Anschauung unberücksichtigt, daß bis zur Vollendung des isostatischen Ausgleiches die Entlastung polverschiebend wirken muß und daß die endliche isostatische Wirkung infolgedessen an Ort und Stelle nichtmehr genau dem entstandenen Massendefekt zu entsprechen braucht. Das ist hier bei dem theoretischen Gedankengang nebensächlich. Weiter fällt nach Wegener die Mächtigkeit der Sedimentdecke gegenüber der Dicke der Kontinentalschollen nicht ins Gewicht, obwohl stellenweise große Mächtigkeitsbeträge erreicht werden. Wenn man sich die vorhandenen Sedimente auf die ganze Erdoberfläche gleichmäßig verteilt denkt, so würden sie nach Clarke[1]) ein Häutchen von etwa 800 m Dicke bilden, und rechnet man die Kontinente zu ⅓ der Erdoberfläche, so hat auf dem sichtbaren, über dem Meeresspiegel liegenden Teil der Kontinentalsockel die Sedimentdecke nur eine Mächtigkeit von 2400 m. Das fällt nicht ins Gewicht, wenn wir die Mächtigkeit der Kontinentalschollen, wie oben angegeben, zu rund 100 km nehmen.

Die Kontinentalklötze, so schließt Wegener, bestehen also im wesentlichen nicht aus Sedimentärmaterial, sondern aus „Urgestein", und halten wir uns an dessen Hauptvertreter, so können wir sagen: die Kontinentalschollen bestehen aus Gneis. Dieses Material ist es eben, das Suess mit Sal bezeichnet und das durchschnittlich spezifisch leichter ist als das darunterfolgende, hauptsächlich magmatische Sima, dessen Schmelzpunkt 200—300° höher liegt. Es liegt daher von vornherein nahe, anzunehmen, daß der durch die Pendelmessungen konstatierte Gewichtsüberschuß unter den Ozeanen von der größeren Nähe des Sima dort veranlaßt, mithin die salische Kruste dort dünner ist als in den Kontinentalregionen, was ja nach der Natur der Sache auch an und für sich anzunehmen ist. Diese Vorstellung stimmt auch mit den Berechnungen des spezifischen Gewichtes überein. „Ist 2,8 das der Kontinentalschollen, so berechnet man leicht aus der Tiefe des Eintauchens, daß die Ozeanböden das Gewicht 2,9 haben müssen, und dies ist in der Tat ein guter Durchschnittswert der simischen Gesteine." Daraus leitet sich die oben erwähnte Wegener'sche Grundidee ab, daß die Kontinente in eine schwerere Materie eingesenkte, nicht nur, wie wir oben zuerst proponierten, auf ihr schwimmende lithosphärische Schollen seien, die Ozeanböden aber die oberflächlichen Teile des Sima. Rein schematisch würde sich ein Schnitt durch einen Kontinentalrand so darstellen, wie es beistehende aus Wegener entnommene Fig. 16 (S. 96) zeigt.

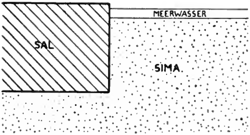
Wegen der physikalischen Eigenschaften des simatischen Gesteins, sowie wegen der zunehmenden Temperatur im Erdinnern kommt Wegener zu dem Schlusse, daß sowohl Sal wie Sima sich plastisch

1) Clarke, F. W., The data of geochemistry, 2. Edit. Washington 1911.

Digitized by Google

verhalten; und da für solche zähe Massen die auch von uns oben schon erwähnte Tatsache gilt, daß sie einem momentan wirkenden Drucke zwar großen Widerstand entgegensetzen, aber bei entsprechend langer Einwirkung ausweichen, so liegt auch hier prinzipiell kein Bedenken mehr vor, große Horizontalverschiebungen der Kontinentalmassen zuzulassen, wenn nur Kräfte nachweisbar sind, welche durch längere geologische Zeiträume hindurch unverändert in derselben Richtung wirken. Der Gedankengang behielte auch seine Richtigkeit, wenn man nur für das Sima allein Plastizität bzw. magmatische Konsistenz annehmen wollte.

Es ist kein gegen Wegeners Argumentation beweiskräftiger Einwand, wenn man darauf hinweist, daß bei diesen Zerrungen das magmatische Sima katastrophal hätte heraustreten müssen. Es ist nach Wegener kein Zweifel, daß bei dem Auseinandergehen der salischen Schollen das Sima entblößt wird und dann zu submarinen Lavaergüssen führt. Aber man muß bedenken, daß das spezifisch schwerere Sima nach dem Gesetze der kommunizierenden Röhren nur soweit heraufsteigt, bis isostatisches Gleichgewicht herrscht, vorausgesetzt, daß nicht innermagmatische Druckverhältnisse hinzukommen. Tatsächlich wissen wir ja, daß innerozeanische Magmaergüsse unmerklich verlaufen. Ist das alles richtig, so müssen Zeiten ausgiebiger Krustenbewegungen in der Erdgeschichte auch Zeiten intensiven Vulkanismus sein, was ja zutrifft.



Figur 16.

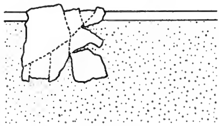
Wenn unter den Ozeanen die Materie der Erdrinde dichter, schwerer ist, sagt Willis[1]), und unter den Kontinenten leichter, wie es uns die Geodäsie lehrt, dann muß es eine Grenzzone zwischen den beiden stofflichen Formationen geben. Die schwerere übt einen seitlichen Druck auf die leichtere aus, und obwohl die Starrheit des Erdkörpers kein sofortiges Sichausleben dieses Druckes gestattet, wird doch mit der Zeit sich ein langsames Fließen des Schwereren gegen das Leichtere geltend machen; der Meeresboden drückt und bewegt sich gegen die Kontinentalmasse. An der Oberfläche mag der Druck einen absoluten Widerstand finden, desgleichen in der Kompensationstiefe von 100 bis 200 km. Dazwischen breiten sich die schwereren Massen aus und schieben die leichteren beiseite. Es kommt zu Unterschiebungen der Kontinentalgebiete, deren leichte Kruste dann auf der schwereren ruht oder, wenn diese magmatisch zäh ist, auf ihr schwimmt — es ist im Prinzip das von Wegener gegebene Bild der jetzigen Verfassung

1) Willis, B., Research in Chine, Vol. I, Washington 1907, S. 115ff.

der Erdrinde. Zugleich würden sich daraus vulkanische Intrusionen erklären[1]).

Eine andere Möglichkeit, solchen Schwereanomalien gerecht zu werden, bestünde meines Erachtens darin, die in das plastische Sima eingetauchten oder auf ihm schwimmenden salischen Kontinentalklötze nicht als geradlinig begrenzte Würfel und Rhomben anzusehen, sondern als Blöcke von unregelmäßiger Konfiguration, zum Teil versehen mit Massendefekten in Form richtiger, mit tektonischen Spalten zusammenhängender Höhlungen, in die gelegentlich das Sima eingreift, wodurch dann Überkompensationen eintreten, etwa im Sinne nebenstehender Fig. 18.

Daraus würden sich dann auch sehr einfach Schwereanomalien wie die des großen afrikanischen Grabens erklären. Zu ihm gehört bekanntlich auch das Bruchsystem des Roten Meeres, des Jordantales und des Toten Meeres. Das Rote Meer zeigt außerhalb des Schelfes im allgemeinen die Schwereverhältnisse, wie sie Meeren gegenüber Kontinentalstücken zukommen. Wenn nun der Graben Jordan-Ostafrika nur dort simatisches Gestein hätte, wo er zufällig meerbedeckt ist, dann könnte man nicht verstehen, warum dort, wo keine Meeresbedeckung ihn verhüllt, nur salisches Gestein liegen sollte. Wenn wir aber an Hand der Fig. 18 annehmen, daß in den salischen Block, auf dem dieses Grabensystem liegt, von unten oder neben her Sima stellenweise eingreift, das nur dort, wo jetzt Meer liegt, vollständig wie ein „Fenster" durchdringt, dann erklären sich erstens sehr gut die Schwereanomalien in diesem Bruchsystem und zweitens auch die Tatsache, daß der vom Roten Meer bedeckte Teil desselben einen simatischen Boden, der nicht meerbedeckte Teil aber einen salischen, jedoch anomalen Boden bzw. Untergrund hat, in dem zur Zeit noch Höhlungen infolge der tektonischen Verschiebungen vorhanden sind, längs deren vielleicht einmal eine Teilung der salischen Kruste stattfinden und in die wohl auch plastisches Sima eindringen wird. Tatsächlich hat ja Kohlschütter nachgewiesen[2]), daß in dem genannten großen Grabensystem die Forderungen der Isostasie nicht erfüllt und Massendefekte vorhanden sind.



Figur 18.

Ich glaube, wir dürfen die Krustenverschiebungen über dem die Hauptmasse und das Hauptschwergewicht der Erde ausmachenden Kern im einen oder anderen Sinne nunmehr als eine brauchbare wissenschaftliche These ansehen und mit ihr geradezu wie mit einer Tatsache, mindestens aber doch wie mit einer gesunden Arbeitshypothese rechnen.

1) — A theory of continental structure applied to North America. Bull. Soc. geol. Amer., Vol. XVIII, New York 1907, S. 389. Vgl. zu obigem auch Suess, Antlitz der Erde, Bd. III, 2, S. 708—709.

2) Kohlschütter, E., Über den Bau der Erdkruste in Deutsch-Ostafrika. (Vorläuf. Mitteil.) Mitteil. Königl. Ges. Wiss. Math.-phys. Cl., Göttingen 1911, S. 1—40.

Von verschiedenen Gesichtspunkten aus ist man zu ihr gelangt. Die Struktur der Erde, wie sie uns die Seismologie erschließt, legt diesen Gedanken nahe; die erdgeschichtliche Vergangenheit verlangt sie unter dem Begriff „Polverlegungen", die der Astronome nur konzediert, wenn die Rotationsachsenstellung und das Gleichgewicht dadurch nicht wesentlich gestört wird. Die Tatsachen der Tektonik, vor allem die Massenverlagerungen bei Gebirgsbildung, die Argumentationen Wegeners und, wie wir später sehen werden, das Permanenzproblem, verlangen sie. Da ist es höchst bedeutungsvoll, daß auch Modifikationen der im folgenden Abschnitt zu behandelnden isostatischen Lehre zu ihr führten, so daß sie von vielen Seiten her gefordert und begründet erscheint.

Um aber diese Lehre in vollem Maße für die Paläogeographie fruktifizieren zu können, ist es ein notwendiges Erfordernis, daß sich die Erde als Ganzes — nicht die Kruste — seit mindestens algonkischer Zeit schon wesentlich in demselben inneren Zustand befand, wie jetzt. Und diese Annahme wird man wohl ohne weiteres machen können. Im Kapitel III sind die Gründe dargelegt, welche uns zu der Annahme zwingen, daß die Erde mindestens zur Zeit der großen algonkischen Gebirgsbildungen schon eine Kruste besaß, welche so dick war, daß die innere Wärme keinen Einfluß mehr auf die Oberfläche auszuüben vermochte. Wir haben nicht nur algonkisches Eis, sondern wir sehen auch, daß die Faltenbildungen in jener Epoche nirgends den inneren Glutmassen in ausgedehntem Maße einen Austritt an die Oberfläche erlaubten, was doch der Fall hätte sein müssen, wenn die Kruste noch sehr dünn gewesen wäre. Sie muß sich also praktisch schon so verhalten haben, wie später und in der Jetztzeit; wir dürfen also, wo wir es etwa brauchen werden, mit der gleichen Konstitution des Erdkörpers in allen früheren geologischen Zeiten bis ins Algonkium zurück rechnen.

Daß es kontinentale Schollenverschiebungen gibt, ist nicht nur eine aus der Geologie bekannte Alltagswahrheit, sondern es ist auch, wie schon erwähnt, für die Jetztzeit außerordentlich wahrscheinlich. Was jedoch deren Ursachen sind, darauf will sich Wegener noch nicht festlegen; er meint, es liege nahe, die Mondflut im Erdkörper als Erklärung heranzuziehen. Es ließe sich der Mechanismus dann etwa so deuten, daß die regelmäßigen geringen Gezeitenspannungen bzw. Hebungen des Erdkörpers selbst, die stets in gleicher Richtung ostwestlich verlaufen, und deshalb eine „unverändert im selben Sinne" wirkende Kraftquelle bedeuten, die langsame Verschiebung bewirkten. Dafür spräche nach Wegener die Tendenz zu meridionaler Spaltenbildung, die sich in den bekannten geographischen Homologien der südlichen Zuspitzung der Kontinente (Grönland, Südamerika, Afrika, Vorderindien usw.) äußert. Wichtig für uns ist, daß jedenfalls auch Wegener Polverlagerungen nicht für die Ursache, sondern für die Folge der von ihm proponierten horizontalen Krustenverschiebungen ansieht.

Ich möchte noch auf eine andere Möglichkeit hinweisen, die für die von Wegener angenommenen Kontinentalverschiebungen als verursachende Kraft in Betracht kommen könnte. Wenn es wirklich im Mesozoikum pazifische Landmassen gegeben haben sollte, die aus irgendeinem Grunde zerfallen und daher jetzt nicht mehr als salische Klötze selbständig vorhanden sind, so konnte das mit Beginn der Kreidezeit frühestens geschehen sein, da wir im Jura noch Andeutungen von pazi-

fischem Land haben (vgl. Kapitel VI). In der Unterkreide sehen wir auch zum erstenmal in Westafrika (Kamerun) marines Mesozoikum auftreten. Damals hätte also, wenn wir den Wegener'schen Vorstellungen folgen, die Abspaltung der amerikanischen Landmasse aus Eurafrika begonnen. Nimmt man an, daß die Gleichgewichtsverteilung im Krustenmantel zuvor durch die Existenz pazifischen Landes einerseits und einer ameriko-eurasisch-afrikanischen Masse, von der bis dahin größere Teile unter Wasser lagen, andererseits geregelt war, nun aber der Zerfall erfolgte, dann wurde dadurch dieses Gleichgewicht gestört. Die Rotation der Erde aber trachtet, wie bei einem einseitig belasteten Kreisel, das Gleichgewicht wieder herzustellen. Das aber kann auf einer Kugel mit beweglicher Schale nur so geschehen, daß die aufgelegten verschiebbaren Massen tunlichst gleichmäßig verteilt werden. Sind diese aufgelegten Massen flüssig, dann muß sich eine universell verbreitete Wasserhaut über der rotierenden Kugel bilden. Sind die Massen fest und starr, d. h. wenigstens keine Flüssigkeit, dann ist eine absolut gleichmäßige Verteilung des Salmaterials über der Erdaußenseite nicht zu verwirklichen. Die jedoch nach dieser Verwirklichung strebende Rotationskraft trennt dann die bisher zusammenhängenden Massen an ihren schwachen Linien und ordnet sie tunlichst in je 120° Abstand voneinander an, wohl weil die tetraëdrische Form die nächst erreichbare ist, wenn die Kugel an ihrer Oberfläche keine vollkommene Kugel mehr sein kann. Das würde die ostwestliche Verteilung der Kontinentalmassen erklären.

Nun liegen aber auch derzeit im Norden mehr salische Massen als im Süden, und das kann eine weitere Ursache haben. Es läßt sich nämlich denken, daß durch die algonkische und paläozoische Gebirgsbildung schon auf der Nordhemisphäre ein die salische Kruste verdickender Zusammenschub stattfand, durch den die südlicheren salischen Kontinentalmassen nach Norden schoben. Das würde sich in Asien besonders geltend gemacht und sich hier, wie in Europa von der Kreide ab, wo die ersten alpinen Bewegungen stattfanden, bis ans Ende der Tertiärzeit vollendet haben. So konzentrierten sich die salischen Massen auf der jetzigen Landhalbkugel (vgl. Fig. 7*A* auf S. 42), und dieses Zusammenwirken von ostwestlich verlaufender Gleichgewichtsverteilung sowie Konzentration der Salschollen nach Norden infolge der Gebirgsfaltungen würde die tetraëdrische Anordnung, die ja nicht weggeleugnet werden kann, bewirkt haben, zu deren Entstehung wir also weder der höchst fragwürdigen Kontraktion des Erdinneren, wie sie Green, Gregory, Arldt und andere Verfechter der Tetraëdertheorie in Anspruch nehmen, noch des Zurückgebens auf alleräIteste Zeiten bedürfen. Zugleich wäre diese Lösung der Tetraëderfrage durch die Wegener'sche Grundidee eine Stütze für diese selbst (vgl. auch Kapitel VI bei der Permanenzfrage). Damit ist zugleich auch die oben (S. 68) bei Besprechung der Tetraëdertheorie in Aussicht gestellte Erklärung nachgeholt.

Daß Faltengebirgsbildung die von ihr betroffenen Krustenteile auf alle Fälle verkürzt, mag man als Ursache der Entstehung von Faltengebirgen annehmen, was man will, ist eine aus der Natur der Falten sich von selbst ergebende Tatsache. Es wird also durch diesen Prozeß die Erdrinde auf Kosten ihrer Ausdehnung verdickt. Niemals kann ein solcher Zusammenschub wieder ausgewalzt werden, und ein in diesem Sinne sich geltend machender Zug wird nicht die gefalteten Massen

Digitized by Google

wieder in die Horizontallage zurückbügeln, sondern, wenn er stark genug ist, die Kontinentalmasse zerreißen, das Faltengebirge als solches aber bestehen lassen. Die Faltengebirgsbildung hat sich aber in allen geologischen Epochen geltend gemacht, bald mehr, bald weniger, und so mußten die Gebirgsfaltungen, also die Verdickungen der salischen Rinde, mit Zerreißungen Hand in Hand gehen und so die ursprünglich zusammenhängenden Kontinentalmassen mehr und mehr in einzelne Schollen isolieren, die durch ihre Dicke sich allmählich über das Sima erhoben. Es bildeten sich so die Niveauunterschiede zwischen ozeanischen Tiefen und Kontinentalblöcken zunehmend aus.

3. Die polverlegenden Kräfte.

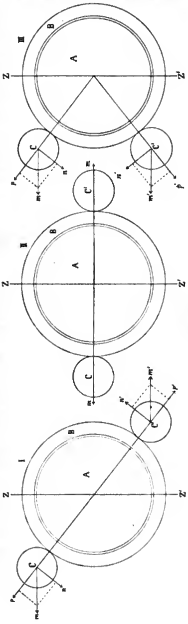
Wir haben zwei Hauptarten von Polverlegungen unterschieden, absolute und relative. Die ersteren sind die Schwankungen des ganzen Erdkörpers, also Schwankungen der Rotationsachse. Wenn wir absehen von der Nutation, so gehören nach der Auffassung der Astronomen und Geophysiker zu ihnen die jährlichen kleinen Polschwankungen. Diese sind in der Hauptsache veranlaßt durch die ungleichmäßige, wechselnde Verteilung der Niederschlagsquanten und eine dadurch herbeigerufene Störung des Gleichgewichtes auf dem Erdkörper. Dieser soll infolgedessen in ein minimales Schwanken geraten, das zwar die stetige Tendenz zum Ausgleich hat, aber diesen Ausgleich nie findet, weil die Ursache der Störung sich mit einzelnen Variationen stets wieder erneuert.

Es gibt aber, wie oben S. 90 schon betont wurde, auch noch andere gewaltige Massenverfrachtungen auf dem Erdkörper: Sedimentation, tektonische Verschiebungen von Schollen in vertikaler und horizontaler Richtung, Faltengebirgsbildung, große Umsetzungen von Meeren. Haben daher die Astronomen mit der Ursachenangabe für die kleinen jährlichen Polschwankungen recht, dann müssen diese letztgenannten Bedingungen ebenso zu Polschwankungen und zwar von noch größerem Ausmaße führen und geführt haben. Nun hat sich gezeigt, daß Erdbeben von hoher Intensität und weiter Verbreitung dann meistens auftreten, wenn die Bahn der jährlichen Polwanderung ihre Richtung ändert[1]). Supan fügt hinzu: „Was hier Ursache oder Wirkung ist, ist noch völlig unaufgeklärt.“ Es ist aber bekannt, daß die längs großer tektonischer Spalten verlaufenden Erdbeben am verbreitetsten und intensivsten sind und daß mit solchen Beben vielfach Niveauverschiebungen der Schollen Hand in Hand gehen. Damit ist die Verknüpfung von Schollenverschiebungen der Erdkruste mit absoluten Polschwankungen unmittelbar gegeben, und wir dürfen wohl mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß die großen erdgeschichtlichen Niveauveränderungen, Absenkungen, Horizontalverschiebungen, Umlagerungen der Ozeane, durch Störung des Gleichgewichtes zu Verlagerungen der Rotationsachse führten, Störungen, die proportional der Stärke und dem Ausmaße dieser Gewichtsverlegungen sein mußten.

Diese Umsetzungen von Krustenteilen und Ozeanen dürften jedoch immerhin so langsam vor sich gegangen sein, daß, ebenso wie bei den heutigen jährlichen Polschwankungen, wahrscheinlich ein

1) Supan, A., Physische Erdkunde, 5. Aufl., Leipzig 1911, S. 435/436.

Ausgleich der dadurch allenfalls erzeugten absoluten Polschwankungen mit ziemlicher Vollständigkeit jeweils wieder eintrat. Donn der rotierende Erdkörper sucht ja, wie der rotierende Kreisel, immer wieder die Rotationsachse in ihre ideale Ursprungsstellung zurückzubringen. Darum ist es mir nicht wahrscheinlich, daß die um einen großen Betrag im Jungtertiär und Diluvium z. B. vorhanden gewesene Polverlegung, die wir wohl, ebenso wie für die obere Kreide, annehmen müssen, wo die Klimazonen weiter nordwärts verschoben lagen, als heute — daß diese dauernde andersartige Lage des Poles dem Wesen nach identisch wäre mit einer wirklichen Verlegung der Rotationsachse. Hier scheint mir vielmehr ein ganz anderer Mechanismus in Frage zu kommen.



Figur 18.

Der Steinmantel der Erde ist von dem Innern durch eine magmatische Zwischenzone getrennt, und wir faßten oben bei der Definition des Begriffes Polverlegung die Möglichkeit einer Verschiebung des Mantels über dem Nickeleisenkern ins Auge. Wir können überhaupt zur Zeit nur Möglichkeiten diskutieren; ein Wissen gibt es in diesem Punkte, abgesehen von den jährlichen minimalen Breitenschwankungen, noch nicht. Stellen wir uns einmal auf den Standpunkt, der Steinmantel der Erde sei trotz aller ihm von Wegener zugeschriebener Differenzierung dem Kern gegenüber eine Einheit. Dann läßt sich folgender, von Kreichgauer [1]) in seinem schon zitierten Werke „Die Äquatorfrage in der Geologie“ konsturierter Mechanismus denken (Fig. 18): Die Hohl-

1) Kreichgauer, D., a. a. O. S. 79—81.

kugel B enthalte eine Vollkugel A und erstere sei um letztere nach allen Seiten verschiebbar. Der Außenfläche seien die Massen CC' starr aufgesetzt und das ganze System rotiere um ZZ'. (Stellung I). Es wird die Zentrifugalkraft von C und C' allein wirksam werden, und zwar im Sinne der Komponenten von m. Es heben sich p und p', weil entgegengesetzt wirkend, auf, übrig bleiben n und n', die im Sinne der Pfeilrichtung eine Drehung der Hohlkugel bewirken, so lange, bis das System im Sinne von Stellung II zur Ruhe kommt, nämlich dann, wenn die aufgesetzten Massen im Äquator angelangt sind. Liegen aber die beiden Massen C und C' symmetrisch zum Äquator (Stellung III), ein Fall, der für unsere Zwecke hier nicht in Betracht kommt, so bliebe zwar die Hohlkugel in Ruhe, aber durch das Gegeneinanderwirken von n und n' würde eine Pressung auf den Äquator ausgeübt werden. Nun ist aber, meint Kreichgauer, der Erdkörper sehr wahrscheinlich mechanisch ähnlich zusammengesetzt wie einer dieser Apparate, denn die leichtere Erdrinde schwimme auf dem schwereren Kern und die Stelle der Kugeln CC' nehmen die vorstehenden Rindenschollen, nämlich die Gebirge, die Kontinente und die unterseeischen Rücken ein. Untersuche man, in welchem Sinne die der Erde aufgesetzten Kontinentalblöcke krustenverschiebend wirken, so könne man diejenigen Landmassen ausscheiden, welche sich mit ähnlicher Zugkraft entgegenwirken und das seien alle die, welche im gleichen Meridiankreise und zugleich symmetrisch zueinander liegen. Bei diesem Verfahren bleiben übrig auf der Nordhemisphäre: Europa, das südliche Asien und das nordwestliche Afrika. Die nach dem obigen Schema konstruierte drehende Resultante sucht die genannten Länder südwärts zu schieben.

Soweit der Gedankengang Kreichgauers. Theoretisch ist er richtig, aber in Wirklichkeit, insbesondere hinsichtlich der bewegenden Ursache, nur bedingt. Denn die Kontinentalklötze und Gebirgsmassen bedeuten tatsächlich derzeit keinen Gewichtsüberschuß auf der Erdkruste, weil ja durch die Pendelbeobachtungen nachgewiesen ist, daß unter ihnen die Dichte geringer ist, als unter den Ozeanen. Wir dürfen also nicht, wie Kreichgauer es tut, einfach die Kontinentalmassen als Gewichts**überschuß** an der betreffenden Stelle der Erdkruste buchen, sondern müssen annehmen, daß der jetzige Zustand bereits das Resultat eines isostatischen Dichteausgleiches ist. Es ist ohnehin verwunderlich, daß der Begriff Isostasie in dem ganzen Werke von Kreichgauer überhaupt nicht auftaucht.

Gleichwohl ist aber so viel sicher, daß bei großen tektonischen Umwandlungen des Steinmantels die Isostasie nicht sofort mit einem Dichteausgleich nachkommen kann. Die Schwereanomalien, die ja gerade an tektonisch markanten Stellen der Erdkruste am ausgesprochensten auftreten, beweisen dies ja. Es sind also in der Kruste, die gleichsam lose über dem Kern sitzt, Gewichtsungleichheiten vorhanden, und wenn diese zufällig im Sinne der Stellung I des Schemas in Fig. 18 verteilt und groß genug sind, dann kann vielleicht der von Kreichgauer angenommene Mechanismus wirksam werden. Ein spezieller Fall dabei mag der sein, daß eine Schollenerhebung, die sich diagonal zwischen der Längen- und Breitenrichtung erstreckt, insofern krustenverschiebend wirken kann — es gilt dies natürlich auch für epirogenetische Hebungen von entsprechendem Ausmaß — als für gehobene Krustenteile eine größere Rotationsgeschwindigkeit notwendig

wird, weil der Weg, den sie nunmehr im gleichen Zeitraum zurückzulegen haben, länger ist als vorher. Bis ihnen diese größere Geschwindigkeit erteilt ist, üben sie einen der Rotationsrichtung entgegengesetzten Druck in der Kruste aus. Bei meridional verlaufenden Gebirgsbildungen kommt es dadurch allerdings nur zu einem westwärts gerichteten Druck, der also keine Polverlagerung erzeugen könnte; bei einer Erstreckung in der Breitenrichtung ebenso. Nur bei diagonaler Lage würde sich die geographische Pollage relativ zum Rotationspol verschieben können.

Dem gegen Drehungen des Mantels über dem Kern allenfalls zu erhebenden Einwand, daß das Magma zu zähe sei, um eine Hinwegbewegung der Kruste zu gestatten, wäre mit demselben Argument zu begegnen, das auch Wegener anführt: eine zähe, pechartige Materie setzt zwar plötzlichen und raschen Einwirkungen sehr starken Widerstand entgegen, aber lange andauerndem, wenn auch sehr gelindem Drucke weicht sie aus. Kreichgauer führt zur Illustration weiter die Erscheinung an, daß ein auf dem Boden eines mit Pech gefüllten Gefäßes liegender Kork sich nach einiger Zeit an die Oberfläche heraufschafft, während es einer außerordentlichen Anstrengung bedarf, ihn rasch in die Höhe zu ziehen.

Noch eine weitere Möglichkeit besteht für die ungleichsinnige Drehung von Kern und Steinmantel gegeneinander. Das sind die inneren Umsetzungen, Strömungen und chemischen Veränderungen des Magmas, die durch ungleichartige Expansion und Kontraktion und hierdurch erzeugte Wellen- und Fließbewegungen infolge von Gewichtsverlegungen sowohl zu Schwankungen der Rotationsachse, wie auch zu Mantelbewegungen gegenüber dem Kern möglicherweise Anlaß geben könnten. Doch läßt sich dieser Gesichtspunkt derzeit nur andeuten, nicht näher ausführen.

Noch ein Widerstand ist zu berücksichtigen, der sich geltend machen muß, wenn sich wirklich der Steinmantel über den Kern hin bewegte. Er beruht darin, daß die Erde ein Rotationsellipsoid, keine Kugel ist, wie es in den Schematen der Fig. 18 dargestellt wurde, daß mithin bei einer Verschiebung der Kruste über dem Kern Zerrungen bzw. Zusammenpressungen vor sich gehen müßten. Man könnte daher versucht sein, wie es Kreichgauer getan hat[1]), theoretisch ganz bestimmte Zonen der Drehung und Pressung anzugeben, den ersteren die vulkanischen, den letzteren die gebirgsbildenden Erscheinungen zuschreiben und umgekehrt aus dem Verlaufe der Gebirgsbögen auf die Lage des Äquators bzw. der Pole in früheren Zeiten schließen wollen. Das bedeutet aber sicher eine Verwechslung von Ursache und Wirkung, abgesehen von anderen geologischen Tatsachen, die gegen eine solche Schlußfolgerung entschieden sprechen. Denn die Faltengebirge entstehen, wie uns die später noch vorzutragende Geosynklinallehre zeigen wird, aus ganz anderen Quellen. Sie sind nicht eine Folge relativer Polverschiebungen, sondern eher eine Ursache für sie. Denn die bei der Faltengebirgsbildung vor sich gehenden Massenverlagerungen müssen zu Verschiebungen der Kruste über dem Kern oder zur Verschiebung wenigstens einzelner Schollen führen und zwar solange, bis im oben angedeuteten Sinne irgend ein isostatischer Ausgleich erfolgt und wieder Gleichgewicht hergestellt ist. Wir werden also wohl entgegen Kreich-

1) Kreichgauer, D., a. a. O., S. 82—88; 169ff.; 194ff.

Google

GAUERS Darlegungen sagen dürfen, daß die bei relativen Polverlegungen wegen der Ellipsoidform der Erde notwendig werdenden Zerrungen oder Zusammenpressungen sich nicht durch Gebirgsbildung, sondern vielmehr durch Schollenverschiebungen innerhalb des Krustenmosaiks ausgleichen werden.

KREICHGAUERS ganzer Vorstellungskreis gipfelt ja in der Folgerung exorbitanter relativer Polwanderungen durch die geologischen Perioden hindurch. Wenn sie wirklich stattgehabt hätten, dann allerdings müßten sich bei der Verschiebung des Mantels über dem Kern auch gewaltige Zerrungen und Pressungen der Rinde eingestellt haben, je nachdem äquatoriale Teile in die Zone des Rotationspoles und umgekehrt gerückt worden wären. Wir lehnen aber den ganzen Gedankengang unbedingt ab, weil die geomorphologischen und geotektonischen Elemente, aus denen KREICHGAUER seine Polwanderungen bzw. die wechselnden Äquatorlagen ablesen will, aus ganz anderen Ursachen und nach ganz anderen Gesetzmäßigkeiten entstehen; ferner weil wir in den sonstigen erdgeschichtlichen Verhältnissen gar keinen Anlaß entdecken können, relative oder absolute Polwanderungen anzunehmen, die den Betrag von etwa 25—30 Breitengraden überschritten. Bei so geringen Ausschlägen aber sind, wenn sich der Steinmantel über den Kern hinbewegt hätte, keine irgendwie nennenswerten Zerrungen und Pressungen notwendig; und soweit sie in geringem Grade natürlich eintreten, können sie durch die Beweglichkeit der Kruste in sich selbst ausgeglichen worden sein. Denn die Kruste ist kein streng geschlossener Steinmantel, sondern in sich beweglich und verschiebbar. Sie setzt deshalb ihrer Verschiebung über dem Erdkern nicht jenen Widerstand entgegen, den man erwarten müßte, wenn sie eine einheitliche feste Schale über einem festen Kern wäre. Sie verhält sich, um dies durch einen entfernten Vergleich anschaulich zu machen, etwa wie ein aus vielen gelenkig nebeneinanderliegenden Latten bestehender Rolladen, der jeder beliebigen schärferen oder schwächeren Biegung gehorcht.

Wir haben also bisher nur, um in der Theorie die Mechanismen der relativen Polverschiebungen rein heraustreten zu lassen, von einer Drehung des Steinmantels über dem Kern gesprochen so, als ob der Steinmantel sich ganz homogen verhielte. Das wird in Wirklichkeit niemals zutreffen, weil er keine Einheitlichkeit besitzt, sondern ein Mosaik ist. Ganz abgesehen von dem oben schon besprochenen Unterschiede zwischen kontinentalem und ozeanischem Teil der Erdkruste, sind auch die Kontinente in sich aus ganz heterogenen, nicht zu einer Einheit verschweißten geotektonischen Elementen zusammengesetzt.

WILLIS hat diesen Schollenbau z. B. für Nordamerika geschildert[1]). Nach ihm ist Nordamerika ein Kontinentalkomplex von 100 Meilen vertikaler Mächtigkeit, eingeklemmt zwischen drei ozeanischen Senken, der atlantischen, pazifischen und arktischen, bzw. zwischen den Gesteinsmassen, welche den Boden jener Ozeane bilden. Seine Oberfläche ist die Kontinentalplattform. Die isostatisch wirksame Zone beträgt nun 100 Meilen. Die ganze Kontinentalmasse ist infolge der größeren Schwere der subozeanischen Gesteinskruste einem latenten tangentialen Druck ausgesetzt, der zu verschiedenen Zeiten aktiv wurde und Niveaudifferenzen in der Kontinentalmasse hervorrief. Die Wir-

1) WILLIS, B., A theory of continental structure applied to North America. Bull. geol. Soc. Americ. 1907, Vol. VXIII, S. 389—411.

Digitized by Google

kung konnte nicht einheitlich sein, weil der Kontinent aus ganz verschiedenartigen Elementen zusammengesetzt ist. Es sind große geomorphologische, in ihren Dimensionen ganz verschiedene Schollen vorhanden, so das kanadische Hochland im Gegensatz zur Mississippiniederung, die westlichen Gebirgskomplexe im Gegensatz zu dem östlichen atlantischen Flachland, oder Gegensätze, die im Gesteinsaufbau begründet liegen, so die Zone der krystallinen Gesteinsmassen und der Sedimentärplatten, im Südosten der vulkanische Gürtel der pazifischen Regionen und der unvulkanischen atlantischen Hälfte. Nach Willis verhalten sich diese einzelnen Elemente bei Vertikalbewegungen verschieden, die einen steigen, die anderen sinken, die gehobenen werden stärker erodiert, ältere Gesteine treten infolgedessen dort nach und nach heraus, Verwerfungen trennen diese Komplexe. Es gibt Perioden der Bewegung und solche der Ruhe; in letzteren hat sich die kambrische, untersilurische, unterkarbonische und kretazische Transgression vollzogen, während Algonkium, Kambrium, Silur, Devon, und in den westlichen Regionen Oberjura und das Tertiär Bewegungszeiten sind; auch hierin verhalten sich demnach die Schollen verschieden.

Es folgt aus unserer Betrachtung, daß sich die relative Lage und Entfernung der Schollen zueinander im Laufe der Zeit im Zusammenhang mit den Polverlagerungen ändern muß und daß man infolgedessen niemals voraussetzen darf, daß Polpunkte und Äquatorialpunkte früherer Erdzeitalter auch auf der heutigen Erdoberfläche genau um 90° voneinander entfernt liegen müßten. Es könnte, was bei der Konstruktion paläogeographischer Karten gelegentlich in Berücksichtigung zu ziehen wäre, sehr wohl sein, daß die beiden Pollagen nicht mehr genau auf einander entsprechende antipodische Punkte des heutigen Globus zu liegen kommen, da unsere jetzige Erdoberfläche, auf die wir paläogeographische Kartenskizzen projizieren, einer inzwischen durch Verfaltung, Schollenverlagerungen und relative Polverschiebungen veränderten Kruste angehört.

Es wird die Gewinnung sicherer Anschauungen über die Ursachen und den Mechanismus der relativen Polverschiebungen in erster Linie davon abhängen, ob man den Steinmantel als Einheit dem Nickeleisenkern wird gegenüberstellen dürfen, beide getrennt durch eine plastische Zwischenschicht, oder ob man den Steinmantel im Sinne Wegeners stärker differenziert sein und die Verschiebungen zwischen Sal und Sima, nicht zwischen Steinmantel und Eisenkern sich vollziehen läßt. Ausgeschlossen ist es ja nicht, daß außerdem beide Bewegungsarten, nämlich die des simatisch-salischen Steinmantels über dem Nickeleisenkern und auch die der salischen Klötze im Sima den Vorgang relativer Polverlegungen zu einem höchst verwickelten gestalten werden. Auch hier dürfte sich vielleicht der naturwissenschaftliche Erfahrungssatz bewähren, daß die verwickelten und komplizierten, nicht die einfachen Vorstellungen die richtigeren sein werden. Mehr als solche noch ziemlich vage allgemeine Erwägungen lassen sich aber, wie gesagt, derzeit über die immerhin brennende Frage der horizontalen Krustenverschiebung nicht anstellen.

Digitized by Google

V. Die Hebungen und Senkungen der Länder und des Meeresspiegels.

1. Einfache Vertikalbewegungen an der Erdoberfläche.

GILBERT hat seinerzeit den Ausdruck epirogenetische Bewegungen eingeführt[1]) und ihn im Sinne von Vertikalbewegungen angewandt wissen wollen, soweit diese nicht zu orogenetischen Erscheinungen führen. Denn die orogenetischen sind nach seiner und der damals überhaupt gangbaren Meinung vermutlich erst sekundär aus Senkungsbewegungen und dem hierdurch entstandenen tangentialen Druck hervorgegangen. Er sagt an der bezeichneten Stelle: „The displacements of the earth's crust which produce mountain ridges are called orogenic. For the broader displacements causing continents and plateaus, ocean beds and continental basins our language affords no term of equal convenience. Having occasion to contrast the phenomena of the narrower geographic waves with those of the broader swells, I shall take the liberty to apply to the broader movements the adjective epeirogenic. The process of mountain formation is orogeny, the process of continent formation is epeirogeny and the two collectively are diastrophism. It may be that orogenic and epeirogenic forces and processes are one, but so long at least as both are unknown it is convenient to consider them separately."

Nach unserer, im Folgenden näher ausgeführten Anschauung ist die Orogenesis mit Auf- und Abwärtsbewegungen ganz bestimmter labiler Zonen der Erdkruste verknüpft, mit den sogenannten Geosynklinalbewegungen, und diese, worunter wir die orogenetischen einbeziehen, trennen wir von den epirogenetischen ab.

Die letzteren sind daher für uns alle jene einfachen vertikalen Auf- und Abbiegungen, Hebungen und Senkungen an Brüchen, Schleppungen, welche nicht den Charakter von Faltengebirgsbildung alpiner Art haben und nicht Geosynklinalgebieten und deren Bewegungsmechanismus zugehören, den wir weiter unten besprechen werden. Hier handeln wir zuerst nur von den epirogenetischen Krustenverschiebungen.

Will man die wahre Höhe der Festländer über dem Meeresspiegel und die wahre Einsenkung der Ozeane unter denselben auf einem Globus oder Erddurchschnitt darstellen, dann muß man schon einen außerordentlich großen Maßstab wählen, um diese Höhendifferenzen überhaupt

1) GILBERT, G. K., Lake Boneville. Monogr. U. S. geol. Surv., Vol. I, Washington 1890, S. 340.

für das Auge sichtbar zu machen. Auf einer Kugel von 3 m Durchmesser würde die tiefste irdische Meeressenke, zu 10000 m übertrieben angenommen, einer Einsenkung von nur 2,3 mm entsprechen.

Bei der relativ geringen Erhebung der Landkomplexe über den Meeresspiegel bedarf es daher auch nur ganz geringer Verbiegungen oder Verschiebungen auf kurze oder weite Strecken hin, um sie unter das Niveau des Meeresspiegels zu bringen. Ausgedehnte Meerestransgressionen, wie sie uns in der Erdgeschichte ja begegnen, finden so zunächst ihre einfachste Erklärung. Umgekehrt würde der weltweite Rückzug einer epikontinentalen Meeresbedeckung und die Trockenlegung kleinerer oder sehr ausgedehnter Kontinentalflächen durch die entgegengesetzte Verbiegung verständlich werden.

Was kann, abgesehen von einem durch aufgelegte Gewichtsmassen veranlaßten Druck, eine Verbiegung nach abwärts, was eine Verbiegung nach aufwärts bewirken? Darauf sucht die Kontraktionstheorie eine Antwort zu geben. Sie basiert auf der Voraussetzung, daß sich im Laufe der Zeit das Erdinnere mehr und mehr abkühlt und dabei durch Zusammenziehung sein Volumen vermindert. Infolgedessen wird die Kruste zu weit für den Erdball, sie senkt sich ein. Die Einsenkung führt zu tangentialen Gewölbedrucken, es kommt zu seitlichen Hebungen und Aufwölbungen, der Endeffekt ist aber auf alle Fälle eine erneute Anschmiegung der Kruste an ihre magmatische Unterlage. Nehmen wir also einen stabilen Augenblickszustand an: die Kruste ist voll unterstützt und schwimmt, wie wir annehmen wollen, auf dem Magma. Das Magma schreitet fort in seiner Abkühlung, die Unterlage schwindet, es erfolgt eine konkave Verbiegung der Erdoberfläche. Hält sich diese Erscheinung innerhalb geringer Beträge und wird die Elastizitätsgrenze der sich starr wie Stahl verhaltenden Kruste nicht überschritten, so kommt es auch nicht zu tektonischen Zerreißungen und Brüchen, wir haben eine einfache säkuläre Abwärtsbewegung oder, wenn wir wollen, ein Steigen des Meeres an den Küsten des betreffenden Landes. Erst wenn die Elastizitätsgrenze überschritten ist, kommt es zu Niederbrüchen.

Die Senkung im ersten Fall braucht nicht definitiv zu sein. Denn wenn an einer anderen Stelle alsbald durch Schwinden der Unterlage ebenfalls die Tendenz zur Senkung entsteht, so kann — auch wieder unter Voraussetzung, daß die Elastizitätsgrenze nicht überschritten wird — durch tangentialen Druck das zuerst eingebogene Stück Erdkruste wieder heraufgedrückt werden, es kommt zu einem erneuten bruchlosen säkulären Steigen des früheren Senkungsgebietes, das Meer fällt wieder an dessen Küsten. Allerdings dürften die so sich gegenseitig verhaltenden Krustenpartien nur beschränkten Umfang haben, damit es nicht sofort zu Brüchen käme. Stellen sich diese einmal ein und sinken daran Schollen ab, so darf man annehmen, daß dieses Absinken endgültig ist — die Erde nimmt an Volumen mehr und mehr ab: „der Zusammenbruch des Erdballes ist es, dem wir beiwohnen."

Suess, der dieses Wort prägte, ist der extremste Vertreter der Kontraktionstheorie[1]). Für ihn gibt es, soweit die Kontraktion in Betracht kommt, infolge der kontinuierlichen Zusammenziehung des Erdinneren nur Senkungen und Einbrüche in der Erdkruste und erst unter

1) Suess, E., Das Antlitz der Erde, Bd. I, 1885, S. 143, 778; Bd. II, 1888, S. 677ff.; Bd. III, 2, 1908, S. 716—717.

dem Einflusse des tangentialen Druckes zerlegen sie sich in sekundäre Hebungen und Gebirgsfaltungen. Das Schwanken der Meere, ihr Überfluten auf Landareale soll, soweit es nicht durch Einbrüche der festen Kruste bedingt ist, auf eustatische selbständige Schwankungen des Meeresspiegels als Ganzem zurückgehen. Sinkt der Meeresspiegel, so nennt er das negative, steigt er, so nennt er das positive Bewegung, Ausdrücke, die man wegen ihrer vielfach zweideutigen Verwendung in der Literatur besser vermeidet. Ein allgemeines langsames Steigen der Meere werde veranlaßt durch die Sedimentzufuhr vom Lande, ein allgemeines Sichsenken durch Krusteneinbrüche, die das Meer vertiefen oder ihm ganz neue Becken schaffen und so seinem Spiegel eine „negative" Bewegung erteilen. Auch große periodische Umsetzungen der Hydrosphäre, deren Ursache wohl in astronomischen Momenten gesucht werden darf, kommen, abgesehen von anderweitigen unwesentlicheren lokalen Ursachen (örtliche Anziehung des Meerwassers durch terrestren Massenüberschuß) für die scheinbaren Hebungen und die scheinbaren Senkungen des Landes nach SUESS in Betracht.

Man hört und liest heutzutage immer nur, daß dieser SUESS'sche Standpunkt abgetan sei — auch wir werden später Gelegenheit haben, noch andere Zusammenhänge zu betrachten, welche Hebungen von Krustenteilen aus anderen Ursachen, als sie SUESS annahm, nicht unmöglich erscheinen lassen. Wenn man aber die gegen seine Theorie gewöhnlich angeführten Erscheinungen näher besieht, dann erweisen sie sich nicht alle als geeignet, ihn zu widerlegen. KAYSER hat jene Gegenargumente in seinem Lehrbuch der Geologie übersichtlich zusammengestellt und darum wollen wir uns an ihn als Vertreter der Gegenpartei halten[1]).

Als Argument gegen die von SUESS angenommenen örtlichen Schwankungen des Meeresspiegels selbst gibt er an, daß an den europäischen Küsten der Wasserstand allenthalben nahezu der gleiche sei; an der ligurischen Küste stehe das Meer trotz des hier ausstreichenden Hochgebirges nicht nennenswert höher als an der flachen Nordseeküste. „Danach dürfen wir annehmen, daß selbst hohe, an einer Küste sich bildende Gebirge den Meeresstand nicht erheblich beeinflussen können." Darauf ist zu erwidern, daß die Identität der Meeresniveaus an den Küsten der Kontinente eine Voraussetzung war, die man früher machte, die aber nicht mehr haltbar ist, seit man durch Lotmessungen von der Attraktion selbst kleiner ozeanischer Inseln weiß. Immerhin mag zugegeben werden, daß man den Betrag der Anziehung nicht überschätzen darf und daß er gewiß keine bedeutende Niveauverlegung des Meeresspiegels verursachen kann, ebensowenig wie die ebenfalls von KAYSER zurückgewiesene Theorie, daß die Aufhäufung von Eismassen zu einer Verlegung des Meeresspiegels bzw. zu einer Verlegung des Schwerpunktes der Erde und damit zu bedeutenden Umsetzungen der Hydrosphäre führen könnte. Auszuschließen sind aber derartige Einwirkungen nicht, und selbst wenn sie es wären, würde das Wesentliche von SUESS' Theorie damit nicht getroffen sein.

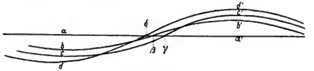
Dieses Wesentliche besteht, um es noch einmal hervorzuheben, in der Annahme, daß es primär nur Einbrüche, Senkungen gäbe und daß die bekannten hochgelegenen Strandlinien nicht von Eigenbewe-

1) KAYSER, E., Lehrbuch der allgemeinen Geologie, 3. Aufl., Stuttgart 1909, S. 765—771.

gungen der Kontinentalschollen, sondern von Senkungen des Meeresspiegels herrührten. Dagegen wendet man nun ein, daß beispielsweise in Skandinavien die Strandterrassen dort, wo sie in Buchten landeinwärts reichen, in ein höheres Niveau hinaufgehen als an der Küste, daß mithin nicht der stets eine Horizontale bildende Meeresspiegel sich gesenkt, sondern das Land sich gehoben haben müsse und zwar landeinwärts mehr als an der Küste. Abgesehen davon, daß es in den meisten Fällen außerordentlich schwierig ist, die verschiedenen Abschnitte der teilweise oftmals sich übereinander wiederholenden Strandlinien auf weitere Strecken hin zu verbinden, ohne auf verschiedene, nicht zusammengehörige Linien zu geraten, kann speziell das Ansteigen der Strandterrassen in Skandinavien nach dem Landinneren, das wohl als gesichert gelten muß, auch durch das Verschwinden des Inlandeises erklärt werden. Dasselbe würde für Nordamerika gelten. Man muß auf Grund des alsbald zu besprechenden isostatischen Gesetzes nämlich annehmen, daß das Eis zur Diluvialzeit durch sein Schwergewicht die skandinavische Scholle herabdrückte — es handelt sich ja, im Ganzen betrachtet, nur um geringe Beträge —, und daß diese sich infolge des Verschwindens der Eismassen nach demselben Gesetz wieder langsam hebt und zwar deshalb im Landinneren mehr als am Rand, weil dort die aufgelagerte Masse größer war. Es handelt sich also um eine ganz sekundäre Erscheinung. Wenn sich weiterhin an einzelnen Landschollen, wie auf der Insel Kreta, Schaukelbewegungen geltend machen — an der Westküste Hebungen bis zu 5 m, an der Südküste bis zu 8 m, an der Ostküste dagegen Senkungen ebenfalls von mehreren Metern, dann spricht auch dies insofern nie gegen Suess, als er ja nicht behauptet hat, die Schollen müßten sich ganz gleichmäßig senken; sie können sich schräge stellen und so auf kurze Entfernungen scheinbar heben, während sie als Ganzes doch eine Senkungsbewegung erleiden. Daß sich ferner auf der Molukkeninsel Amboina quartäre Korallenriffe um mehrere Hundert Meter gehoben zeigen, die auf Amboina 176 m tiefer liegen geblieben sind, daß auf der Insel Kapri marine Auswaschungen und Grottenbildungen aus früheren Zeiten über dem Niveau des Meeresspiegels liegen, hängt zweifellos mit den in allen vulkanischen Gebieten vorkommenden Hebungen und Senkungen zusammen, wofür der bekannte Serapistempel von Pozzuoli das älteste und vielberufendste Beispiel bietet, das Suess selbst behandelte und das in eine ganz andere Kategorie von Bodenbewegungen gehört, die vulkanischen, die gar nichts mit dem Kontraktionsproblem zu tun haben. Daß wir schließlich in der Äquatorialzone keine über dem heutigen Meere liegende Strandterrassen, sondern nur das Gegenteil sehen, nämlich große Absenkungen (Kongofurche auf dem Boden des atlantischen Ozeanrandes), dieser Gegensatz von nördlichen und südlichen Breiten einerseits, Äquatorialzone andererseits, könnte gleichfalls ein Beweis für äquatoriale Senkungen sein, in deren Folge sich das Meer in diese neuen Senkungsgebiete zurückzog und die stehengebliebenen Nord- und Südküsten mehr verließ; wissen wir doch jetzt, daß noch in ganz junger Zeit, wohl nachdiluvial, atlantische Abbrüche stattgefunden haben[1]). Auch könnte dieser Gegensatz zwischen südlichen und nördlichen Breiten einerseits und Äquatorialgürtel andererseits durch eustatische Meeresbewegungen erklärt werden.

1) Termier, P., L'Atlantide. Bull. Inst. Océanograph. No. 256. Paris 1913.

Ein wie ungeeignetes Hilfsmittel zur Erkennung von Hebungen oder Senkungen ganzer Festländer die Strandlinien und die Küstenschwankungen unter Umständen sind — ganz abgesehen von ihrer Bedeutung für die SUESS'sche Theorie — und mit wie großer Vorsicht sie als Beweismittel zu verwenden sind, hat STILLE dargelegt[1]). Ist in der beistehend wiedergegebenen Fig. 19 die linke Seite ein Senkungsgebiet, die rechte ein in unmittelbarer Kontinuität mit ihm stehendes Hebungsgebiet, so durchlaufen die ursprünglich bei *a* lagernden Sedimente bzw. Gesteine der Reihe nach die Niveaus *b*, *c*, *d* bzw. *b'*, *c'*, *d'*, wenn man bei der Hebung von der Denudation absieht. Die Bewegung, ein einheitlicher „Wellenwurf großer Spannweite", pendelt um den mittleren, von der Linie *a a'* geschnittenen Teil, die Küste. Wird dieser zunächst bei β liegende Punkt relativer Ruhe nun etwas seitwärts nach γ verlegt und dann wieder von γ über β nach δ, so haben wir einen „positiven" und dann einen „negativen" Höhenwechsel der Küstenregion, ohne daß das stetige Absteigen der Meeressenke und das stetige Aufsteigen des Landkomplexes unterbrochen worden wäre. Nimmt man die Absenkung als das Primäre, das Aufsteigen nur als Folge der Absenkung, dann fügt sich die ganze komplizierte Erscheinung in SUESS'Theorie zwanglos ein.



Figur 19.

Was man also auch an Strandverschiebungen aufzählen mag, man kann meines Erachtens von dieser Seite aus keine Bresche in das Gebäude der SUESS'schen Grundidee legen. Wohl aber dann, wenn man seine Grundlage, nämlich die Kontraktionstheorie selbst, in Zweifel zieht.

Was die Kontraktionstheorie betrifft, so hat man Grund, in Erwägung zu ziehen, ob sich das vermutlich glühende Erdinnere nicht ausdehnt infolge der Abkühlung, oder ob nicht der endgültigen Kontraktion eine Expansion, wenigstens in den Anfangsstadien, vorausgeht, oder ob sich eventuell die verschiedenen Tiefenzonen des Magmaringes in dieser Beziehung verschieden verhalten? Veranlaßt ist diese Erweiterung der früheren Kontraktionstheorie durch den Nachweis TAMMANNS, daß bei vielen Stoffen, u. a. auch bei dem die Hauptmasse der Erde bildenden Eisen[2]), bei starker Erhitzung zuerst die bekannte Volumenzunahme, dann aber wieder eine Volumenabnahme stattfindet, also umgekehrt bei Abkühlung eine Zeitlang Volumenzu- und abnahme. Dieses Verhältnis verschiebt sich bei den einzelnen Stoffen. Es sprechen aber auch Druckverhältnisse mit. Unter wachsenden Druck gestellt, verschiebt sich der Schmelzpunkt, es tritt aber an einem gewissen Punkte der Zustand ein, daß der betreffende Stoff, einerlei ob fest oder flüssig,

1) STILLE, H., Tektonische Evolutionen und Revolutionen in der Erdrinde, Leipzig 1913, S. 18, 19.

2) TAMMANN, G., Über den Einfluß des Druckes auf die Umwandlungstemperatur des Eisens. Zeitschr. f. anorg. Chemie 1903, Bd. VII, S. 448—454.

Digitized by Google

das gleiche Volumen behält. Dann gibt es ein Stadium, in dem beim Übergang in Schmelzfluß das Volumen sich verringert. Weiter kommt die Umwandlung durch Krystallisation in Betracht, bei der gleichfalls Volumenänderungen, zum Teil sogar plötzlich eintreten, die nach TAMMANNS Anschauungen[1]), im Erdkörper wirksam, zu Niveauveränderungen der Kruste und zu Erdbebenstößen führen können. Ich bin nicht in der Lage, TAMMANNS Auseinandersetzungen zu folgen, wofür man chemisch-physikalisch und mathematisch durchgebildet sein muß. Aber soviel kann man auch als Geologe seinen Resultaten entnehmen, daß die Abkühlung des Erdkörpers, wenn sie überhaupt stattfindet, ein außerordentlich komplizierter Prozeß war und ist, angesichts dessen die Kontraktionstheorie in ihrer gewöhnlichen Form geradezu naiv anmuten muß.

Man darf wohl annehmen, daß der Druck und die Hitzegrade im Inneren der Erde, besonders in größerer Tiefe, doch immerhin derartig hoch sind, daß die von TAMMANN bei seinen Experimenten angewendeten Bedingungen vergleichsweise erst das allerletzte Stadium im Abkühlungsprozeß der Erde bedeuten. Dieses aber, für die Kontraktionstheorie sinngemäß allein in Betracht kommend, muß demnach ebenso sehr durch magmatische Ausdehnung, wie durch nachfolgende endgültige Kontraktion ausgezeichnet sein und könnte bei großer räumlicher Ausdehnung des Prozesses ebensowohl die dünne Kruste um Weniges heben, wie auch sie später bei der endgültigen Kontraktion wieder sinken lassen. Beide Erscheinungen würden sich aber auch gleichzeitig entgegenarbeiten und da zu verschiedenen Zeiten die eine über die andere präponderieren dürfte, so kämen hierdurch möglicherweise jene abwechselnden epirogenetischen Prozesse zustande, welche wir nicht nur in früheren Erdzeitaltern, sondern auch heute noch sich abspielen sehen. Daß hiermit auch eine Erklärung für die wechselnde Intensität der vulkanischen Ausflüsse und Ausbrüche gewonnen wäre, einerlei ob man ihren Ursprungsherd in das eigentliche Erdinnere oder mit STÜBEL in intrakrustale Feuerkissen verlegt, sei nur nebenbei bemerkt. Auch die oben erwähnten Hebungen und Senkungen des Bodens in der Nähe von vulkanischen Herden oder durch Lakkolithe, wie sie ja von GILBERT in Nordamerika nachgewiesen und von BRANCA und FRAAS im Ries angenommen werden, wären dann nur ein Spezialfall jenes Abkühlungsprozesses. Letzten Endes jedoch würde auch die anfängliche Ausdehnung mancher oder sogar aller Stoffe bei der Abkühlung des Erdinneren an dessen schließlicher Zusammenziehung nichts ändern und die Erde könnte längst auf einem Stadium angelangt sein, bei dem unterhalb der Kruste tatsächlich die Kontraktion überwiegt.

Aber ein anderer Gesichtspunkt tritt hinzu, der die endgültige Abkühlung und damit die Kontraktion überhaupt fraglich macht.

Die Kontraktionstheorie beruht, wie wir sahen, auf der Voraussetzung einer im Inneren glühenden, jedoch durch Ausstrahlung in den Weltraum allmählich ihrer Wärme endgültig verlustig gehenden Erde. Auch an dieser Grundlage unserer geologischen Anschauungen ist neuerdings gerüttelt worden. Daß tatsächlich ein Wärmeverlust durch die Kruste hindurch stattfindet, ergibt sich mit Notwendigkeit aus der Wärmedifferenz zwischen Oberfläche und tieferen Zonen, die eine Wärmeausgleichsströmung bedingen, und sei sie noch so minimal.

1) — Kristallisieren und Schmelzen, Leipzig 1903, insbes. S. 181ff.

Digitized by Google

Auf diesem Wege muß also eine stete Wärmeverminderung stattfinden, und die Frage dabei ist nur, ob diesem tatsächlichen Wärmeverlust irgendwelche andere Wärmequellen entgegenarbeiten, die ihn kompensieren oder sogar übertreffen?

Supan meint[1]), daß die Schrumpfung selbst wieder soviel Wärme erzeuge, daß der Verlust durch die säkuläre Ausstrahlung in den Weltraum mehr als hinreichend gedeckt werden könne. Ferner sind die früher ungeahnten Eigenschaften des Radiums, welche ja auch die alten Berechnungen über das Wärmereservoir der Sonne über den Haufen geworfen haben, in unseren Gesichtskreis getreten. Es genügt bei gleichmäßiger Verteilung des Radiums durch die Erde hindurch $^1/_{5700}$—$^1/_{6600}$ mg pro Kubikmeter, um die durch Ausstrahlung verschwindende Wärmemenge zu ersetzen; die untersuchten Gesteine enthalten sogar mehr davon. Nimmt man also an, daß der Radiumgehalt der Erde nicht nur auf ganz beschränkte Zonen verteilt ist, dann kann man ebensogut einer Zunahme der Erwärmung, wie einer Abnahme das Wort reden. Außerdem genügt die in einer Erdkruste von 70 km Dicke aufgespeicherte Radiummenge vollkommen, um die einmal gegebene Erdtemperatur zu erhalten, und ob nun das Erdinnere „glühend" oder „erkaltet" ist, kann daher ganz gleichgültig sein für die Feststellung der Tatsache, daß eine weitere Abkühlung und damit eine Kontraktion des „Erdinneren" höchst unwahrscheinlich geworden ist. Einerlei also, zu welcher der vorstehenden Möglichkeiten man sich bekennt, kann man die Kontraktionstheorie und die daraus abgeleiteten primitiven Anschauungen über die Entstehung von Brüchen und tangentialen Gebirgsauffaltungen heute nicht mehr zu den sicher fundierten wissenschaftlichen Anschauungen zählen oder sie wenigstens nichtmehr als ein Axiom gelten lassen. Sie dadurch aufrecht erhalten zu wollen, daß man annimmt, es seien im Laufe der Erdgeschichte immerhin so ungeheure Quantitäten vulkanischer Massen ausgebrochen, die sich auf der Erdoberfläche dann absetzten, daß hierdurch eine Einsenkung der Kruste hätte eintreten müssen, ginge höchstens für die Zeit der Entstehung der Stübelschen Panzerdecke (s. S. 000) an, von der wir jedoch nichts Verbindliches wissen und deren Konsequenzen für den Aufbau des Erdinneren nicht mit den oben vorgetragenen Resultaten der Seismologie übereinstimmen wollen. Entquellen die vulkanischen Massen aber nur ganz oberflächlich gelagerten Herden, indem sie entweder aus Feuerkissen gespeist werden, die nur in der äußersten Kruste vorhanden sind oder aus chemischen Umsetzungen temporär entstehen, dann würden dadurch allerdings Krustenhöhlungen und zuvor vielleicht lokale Expansionen und Druckkräfte entstehen, die jedoch nur örtlich äußerst beschränkte Bodensenkungen und -hebungen zu bewirken vermöchten (analog Pozzuoli); diese aber hätten dann entgegen dem obigen Gedankengange nichts mit den allgemeineren epirogenetischen Bewegungen zu tun, wie ja Suess seinerzeit schon am Beispiel des Serapistempels dargelegt hat.

Selbst wenn man mit v. Wolff annehmen muß[2]), daß zwar durch die Wärmeerzeugung des in der Oberflächenschale der Erde

1) Supan, A., Physische Erdkunde. 5. Aufl., Leipzig 1911, S. 372.

2) Wolff, F. v., Die vulkanische Kraft und die radioaktiven Vorgänge in der Erde. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., Bd. LX, Berlin 1908, S. 459.

Digitized by Google

zerfallenden Radiums der Abkühlungsprozeß nur außerordentlich stark aufgehalten würde, trotzdem aber die letzte Ursache aller dynamischen Störungen der Erdkruste nur in der stetig fortschreitenden Abkühlung des Erdinneren gesucht werden kann, so geht doch — darüber sind jetzt alle einig — der Abkühlungsprozeß der Erde, wenn überhaupt, mit so außerordentlich langsamem Schritt vor sich, daß man sich gar nicht denken kann, wie die Unterlage der Erdkruste rasch genug schwinden sollte, um die in ununterbrochener Reihe einander folgenden epirogenetischen und orogenetischen Prozesse mit ihrem zum Teil universellen Ausmaße zu erklären.

Die infolge der angeblichen Erdkontraktion entstehenden tangentialen Schub- und Druckkräfte für Auf- und Abwärtsbewegungen der Kruste verantwortlich zu machen, lehnt auch ANDRÉE[1]) in seiner jüngst erschienenen Abhandlung über die Gebirgsbildung ab. Ein tangential wirkender Gewölbedruck ist nach ihm aus Festigkeitsgründen nicht denkbar. Wenn eine tangentiale Spannung in der von der Kontraktionstheorie bisher angenommenen Weise bestünde, müßte die ganze Erdoberfläche gleichmäßig gerunzelt sein nach Analogie mit dem oft als Beispiel herangezogenen vertrockneten Apfel. Die Druckfestigkeit der Gesteine, zumal sie nicht homogen, sondern noch geschichtet und sonstwie gegeneinander abgesetzt sind, würde nie ausreichen, um Gewölbespannungen zu ertragen, und selbst Gesteinsschollen von 100 km Breite, die über andere fortgeschoben werden sollen, würden sich, wie auch RUDZKI angibt, nicht vom Fleck rühren, sondern in Stücke zerbrechen. Dasselbe macht auch MYLIUS gegen die angeblichen großen alpinen Überschiebungen geltend[2]).

Daß Einbrüche und Einsenkungen, einerlei aus welchem Grund, auch im ozeanischen Boden stattfinden, ist angesichts der schmalen Gräben, die gerade in größter Nähe von Festlands- und Inselkomplexen liegen, mehr als wahrscheinlich. Dadurch gerät auch das Festland selbst in Gefahr abzubrechen, wie VOLZ für Sumatra ausführt[3]), wodurch die salischen Schollen und die darauf liegenden Falten durch Lockerung ihres Gefüges zerbrechen. Es entstehen Verwerfungen durch Zerrung und so können im Laufe der Zeit nicht nur alte Faltengebirge in Bruchschollengebirge zerlegt werden, sondern auch Kontinente oder größere und kleinere Teile von solchen unter dem Meere verschwinden. Auf diese Weise ließe sich das Absinken der alten pazifischen Landteile erklären (vgl. Kapitel VI, Abschnitt 1), und in diesem Zusammenhang ist es auch gewiß kein Zufall, daß wir die hauptsächliche Grabenbildung im Stillen Ozean finden und nächstdem im Indischen Ozean, wo wir gleichfalls versunkene Landmassen annehmen müssen. Dem Atlantik, in dem ein reinlicheres Auseinandertreten der amerikanischen und der eurafrikanischen Landschollen stattfand, wobei die Abbrüche von salischem Landmaterial nur geringen Umfang annahmen, fehlen auch die charakteristischen Gräben des Pazifik und Indik fast ganz, mit Ausnahme der Antillenregion.

Wenn überhaupt Umsetzungen im magmatischen Teile des Erdinneren vor sich gehen, woran doch wohl kaum zu zweifeln ist, dann

1) ANDRÉE, K., Über die Bedingungen der Gebirgsbildung, Berlin 1914, S. 7—9.

2) MYLIUS, H., Geologische Forschungen an der Grenze zwischen Ost- und Westalpen. I. Teil, München 1912, S. 151 52.

3) VOLZ, W., Nordsumatra, Bd. II: Die Gajoländer, Berlin 1912, Kap. 7.

Digitized by Google

muß es auch zu Temperaturdifferenzen und Strömungen kommen. Mit FISHER kann man annehmen[1]), daß dadurch Unregelmäßigkeiten an der Magmaoberfläche entstehen und daß aufsteigende Strömungen Aufwölbungen, absteigende Strömungen Oberflächensenkungen hervorrufen, denen die dem Magma angeschmiegte oder auf ihm schwimmende Kruste regional folgen müßte.

Wie man sieht, gibt es mehrere Möglichkeiten, Krustenbewegungen zu erklären, auch ohne die allzu primitiven Annahmen der Kontraktionstheorie im alten Sinne.

Durch die Modifikation, die man der Kontraktionstheorie auf Grund der TAMMANN'schen Versuche erteilen kann, indem man den Ausdehnungen der magmatischen Massen und ihren dabei erfolgenden krystallokinetischen Bewegungen Druckkräfte zuschreibt, mit denen sie die Erdkruste bzw. deren einzelne Schollen zu heben vermögen, ist eine Kraftquelle klargelegt, die trotz allenfalls später erfolgender endgültiger Kontraktion epirogenetische Aufwärtsbewegungen primär, nicht erst sekundär ermöglicht. Ist die Kontraktionstheorie überhaupt nicht haltbar oder wenigstens nicht haltbar für die historisch-geologische Zeit, dann muß man lediglich in wechselnden magmatischen Umsetzungen und krystallokinetischen Volumenänderungen ohne allgemeine Kontraktion eine Erklärung suchen und nebenbei vielleicht in isostatischen Erscheinungen. Auf jene wird nachher bei der Orogenesis zurückzukommen sein, die Isostasie soll zuerst noch besprochen werden.

Eine weitere Möglichkeit bietet eine von BLYTT ventilierte Idee folgenden Inhaltes[2]): Die Strandverschiebungen zeigen heutzutage einen gewissen Gegensatz in polaren und äquatorialen Gegenden und zwar so, daß in höheren Breiten das Land gestiegen ist. Durchweg ist hier die Summe der Senkungen des Meeresspiegels größer als seine Steigbeträge, was in seiner praktischen Wirkung einem Steigen des Landes gleichkommt. In den tropischen Gegenden jedoch hat die gegenteilige Bewegung stattgefunden und erst im Süden etwa vom 30. Grad ab begegnen wir an den Küsten wieder analogen Terrassenbildungen, wie in den Nordregionen. Während nun SUESS in seiner Abhandlung[3]) über die säkulären Meeresspiegelschwankungen und nachher im „Antlitz der Erde" (II, 1888) eine Eigenbewegung des Landes bestritt und die ganze Erscheinung auf Umsetzungen der Meere zurückführte mit einem Übergewicht zu gunsten der Südhälfte (vgl. oben S. 107 ff.), ist man längst zu der Erkenntnis gelangt, daß das Land keineswegs nur Abwärtsbewegungen im Sinne der Schwerkraft (Kontraktionstheorie) macht, sondern auch positive Aufwärtsbewegungen. Der wissenschaftliche Ausdruck dieser durch Beobachtung gewonnenen Erfahrung sei die Lehre von der Isostasie. Nach DUTTON[4]) folgen die leichteren Schollen der Erdkruste der Zentrifugalkraft unmittelbarer als die schwereren; diese bilden Vertiefungen, jene Erhebungen. Tat-

1) FISHER, O., A suggested cause of changes of level in the earths crust. Amer. Journ. Sci., Vol. CLXXI, New Haven 1906, S. 216—220.

2) BLYTT, A., Kurze Übersicht meiner Hypothese von der geologischen Zeitrechnung. Geol. Fören. Förhandl., Stockholm 1890, Bd. XII, S. 35—57.

3) SUESS, E., Über die vermeintlichen säkulären Schwankungen einzelner Teile der Erdoberfläche. Verh. d. K. K. Geol. Reichsanst. Wien, 1880, S. 171 ff.

4) DUTTON, C. E., On some of the greater problems of physical geology. Bull. Philos. Soc. Washington 1892, Vol. XI. S. 51—64.

sächlich weisen ja auch die Gebirge gegenüber den ozeanischen Böden einen Massendefekt auf. Infolge der Isostasie strebt die Erdkruste immer wieder dem Gleichgewichtszustand zu, wenn er (z. B. durch die Sedimentverlagerungen oder starke Inlandeisbedeckung) gestört wird, sie sucht inbezug auf die Schwereverhältnisse der idealen Wasseroberfläche des Rotationsellipsoides zu entsprechen.

Die Abplattung der Erde an den Polen ist eine unmittelbare Wirkung der Achsendrehung, der Grad der Abplattung steht in einem direkten Verhältnis zur Geschwindigkeit der Achsendrehung. Ändert sich letztere, so muß theoretisch auch die Abplattung entsprechend zu- oder abnehmen, bei immer größerer Verzögerung muß sich die Erde der Kugelgestalt mehr und mehr nähern. Das flüssige Element folgt diesem Zug unmittelbar, die feste Erdkruste kann das nicht. Infolgedessen steigt das Meer in höheren Breiten und sinkt in niederen. Haben wir Anhaltspunkte für solche Änderungen der Rotation?

Die Reibung der Sonnenflutwelle, welche in einem der Drehung der Erde entgegengesetzten Sinne verläuft, muß, wie allgemein anerkannt, zu einer Verlangsamung der Achsendrehung der Erde, also zu einer Verlängerung des Tages führen. Nach Thomson und Tait gibt es verschiedene, teils eine Verlängerung, teils eine Verkürzung des Tages herbeiführende Kräfte, von denen die ersteren im Effekt überwiegen, und hier lsteht die verzögernde Flutwirkung obenan. Gerade die Unveränderichkeit bzw. Stetigkeit des Einflusses sorgt für Häufung der Wirkung, welche G. H. Darwin dahin berechnet hat, daß in alten erdgeschichtlichen Zeiten der irdische Tag um viele Stunden kürzer war (vgl. S. 70 ff.).

Die Verminderung der Achsendrehung erfolgt aber nicht gleichmäßig. Die Exzentrizität der Erdbahn wächst und vermindert sich zwischen gewissen Extremen in 4½ Millionen Jahren in drei Zyklen; jeder Zyklus hat 1½ Millionen Jahre Dauer. In einem solchen Zyklus steigt und sinkt der Durchschnittswert der Exzentrizität einmal unter 16 Oszillationen, von denen jede 80000—100000 Jahre dauert, also 4—5 volle Präzessionsperioden theoretisch umfaßt. Die mit dem Exzentrizitätswechsel jeweils verbundene Annäherung an die Sonne steigert die die Sonnengezeiten bewirkende Kraft bis zu $^1/_{150}$ ihres Wertes. Es muß sich demnach die von der Gezeitenwelle hervorgerufene Rotationsverzögerung bei großer Exzentrizität vermehren, so daß im ganzen die Geschwindigkeitsabnahme unregelmäßig vor sich geht.

In Zeiten großer Exzentrizität oder besonders stark abnehmender Rotationsgeschwindigkeit muß in hohen Breiten die Hydrosphäre rascher steigen. Weil ferner der Tag im ganzen stetig abgenommen hat, so müßte seit alten Zeiten das Meer in den polaren Regionen stetig gestiegen, in den äquatorialen stetig gesunken sein oder wenigstens müßte, wenn die feste Kruste sich genau wie das Meer verhielte, weder ein Steigen noch ein Sinken gegenseitig bemerkbar werden. Es ist jedoch, wie oben erwähnt, das Umgekehrte der Fall: in hohen nördlichen und südlichen Breiten steigt das Land bzw. fällt das Meer und am Äquator steigt das Meer bzw. fällt das Land. Es muß also die Lithosphäre sich in ihren Bewegungen anders verhalten als die Hydrosphäre, welche unmittelbar dem isostatischen Zwange folgt.

Wenn das Land heute im wesentlichen dem Rotationsellipsoid angepaßt ist, obwohl früher die Umdrehungszeit rascher war, so zwingt

das zu der Annahme eines Nachgebens der festen Kruste im Sinne der Forderungen der Zentrifugalkraft bzw. der Isostasie, zumal wir Verschiebungen und Bewegungen der Erdkruste als geradezu alltägliche geologische Erscheinungen kennen.

Daß die Kruste sich den Forderungen der Zentrifugalkraft entsprechend fügt, daß sie dies aber nicht koinzidierend mit den Anpassungsvorgängen der Hydrosphäre tut, weil sie eben eine relative Starrheit besitzt, das erzeugt in ihr Spannungen, die nicht stetig und überall gleichzeitig, sondern regional und lokal und nur von Zeit zu Zeit zur Auslösung gelangen. Denn die Erdrinde ist ja nicht in dem Maße labil und in sich beweglich, wie das Wasser. Sobald aber die Hemmungen im Schollenmosaik der Erdkruste irgendwo überwunden sind, dann verschieben sich die Schollen isostatisch, den veränderten Schwereverhältnissen gemäß, der Ausgleich tritt ein und nun ergibt sich eine Differenzbewegung zwischen dem nach den Polen bisher schon konstant gestiegenen Wasser und dem ebenfalls nun dahin tendierenden Land. Es findet eine Erhebung des Landes an der einen, ein Sinken an einer anderen Stelle statt. Auch die kleinen Exzentrizitätsoszillationen wirken spannungsanhäufend und spannungsauslösend und aus diesem gegenseitigen, aber stets ungleichartigen Wettlaufen des flüssigen und festen Elementes resultieren nach Blytt jene geologischen Erscheinungen, die wir Trans- und Regressionen, Verschiebungen der Strandlinien nennen — es ist die Ursache der Zyklen, der kleinen, wie der großen.

Einen ähnlichen Gedankengang, wie Blytt, verfolgt v. Böhm[1]). Durch die Gezeitenreibung erfolgt eine Verminderung der Rotation und durch die hiermit verknüpfte Gestaltsänderung der Erde eine Massenbewegung, die genügen soll, um die wichtigsten geologischdynamischen Vorgänge zu erklären, denen man in der Erdgeschichte begegne: die Verschiebungen der Strandlinien und die Gebirgsbildung. Durch die Abnahme der Rotationsgeschwindigkeit wird die Erde aus der Ellipsoidform der Kugelform genähert. Um jene zur vollkommenen Kugelform überzuführen, müßte sich die größere Achse um 7 km verkürzen, die kleine aber um 14 km vergrößern. Auf dem Wege zu diesem Zustand befindet sich die alternde Erde und darum nimmt der Meridianabstand der Parallelkreise bis 55° nördl. und südl. Breite stets zu, von da bis zu den Polen stets ab; zugleich nimmt die Oberfläche bis zwischen 34° und 35° nördlicher und südlicher Breite zu — und von da nord- bzw. südwärts ab; das Maximum der Oberflächenabnahme liegt bei 60—65° nördlicher und südlicher Breite. Von der Grenze zwischen beiden Zonen, der abnehmenden und der zunehmenden, geht eine sich in tangentialem Druck äußernde Bewegung nach den Polen vor sich, weil dort die flachere Ellipsoidfläche in die gewölbtere Kugelfläche zu verwandeln, während in der Äquatorialregion die Kugelfläche mit größerer Krümmung in eine flachere zu verwandeln ist. Das Maximum des Tangentialdruckes liegt um 45° nördl. und südl. Breite. In früherer Zeit, als die Rotation und damit die Abplattung noch bedeutender war, muß auch der Ausgleich bedeutendere Wirkung gezeitigt haben. Die Hydrosphäre folgte rascher, die Lithosphäre nur gelegentlich nach Maßgabe ihrer örtlichen und zeitlichen Labili-

1) Böhm v. Böhmersheim, A., Abplattung und Gebirgsbildung. Wien u. Leipzig 1910. 83 S.

tät. v. Böhm's Idee kongruiert hier mit der vorhin referierten Idee Blytts.

Aus dieser und jener gewinnen wir ein neues Moment, um sowohl Bewegungen der festen Kruste, wie auch eustatische Bewegungen des Meeres ursächlich zu erklären, aber v. Böhm begeht den Fehler, auch wieder den Verlauf der Gebirgsbildung mit seiner Theorie vereinigen zu wollen. Wenn er nur Europa im Auge hätte, könnte er recht behalten, denn da geht seit dem Paläozoikum eine im wesentlichen ostwestlich gerichtete Faltengebirgsbildung zwischen 45° und 58° nördl. Breite vor sich. Aber weder für Asien, noch für Nordamerika, noch für die Südhemisphäre gilt dieses Gesetz, zumal auch meridionale Gebirgsrichtung in den beiden letztgenannten Regionen vorherrscht. Ferner darf nicht übersehen werden, daß bei derartigen Ausgleichsbewegungen die uneinheitlich gebaute Kruste sich gewiß nicht wie ein geschlossener Kugelmantel verhalten würde, sondern daß die einzelnen Schollen sich gegeneinander verschieben würden. Das käme praktisch schon einer relativen Polverschiebung gleich und damit würden sich schon die Stellen auf der Erdoberfläche ändern, auf die der Druck nach den gemachten Berechnungen wirkte: die Kruste hätte sich dann sozusagen unter dem Netz der Längen- und Breitegrade, jedoch in sich verschiedenartig, verschoben. Abgesehen davon müssen wir aus den weiter unten erörterten Gründen die Faltengebirgsbildung, wenigstens die alpine, ganz anders gearteten Ursachen zuschreiben.

Aus unseren bisherigen Überlegungen und aus den vorgetragenen Theorien ergibt sich die Erkenntnis, daß die Bedingungen für die Veränderung und Ausgestaltung der Erdoberfläche außerordentlich verschiedenartig und verwickelt sind. Eine große Anzahl von beeinflussenden Kräften ist am Werke, aber jede von ihnen kann sich nur bis zu einem gewissen Grade ausleben. Jede wird von der Gegenwirkung der anderen paralysiert, abgelenkt, modifiziert, und so kommt inbezug auf Gestalt und Umwandlung der Erdrinde ein Bild zustande, das nur hin und wieder die einzelnen schaffenden Kräfte an mehr oder minder verschwommenen Zügen erkennen läßt. So ist es kein Wunder, wenn sich gegen jede verallgemeinerte Spezialerklärung eine Menge von Tatsachen ins Feld führen lassen, für die eine solche Erklärung, von außen besehen, ungültig ist, oder es wenigstens zu sein scheint.

2. Die Isostasie und die Grenzen ihrer paläogeographischen Bedeutung.

Wäre die Erde ein homogener, weicher Körper, dann würde sie, vorausgesetzt, daß sie keiner Abkühlung und keinen deformierenden Oberflächenspannungen unterläge, ein der jeweiligen Lage ihrer Rotationsachse entsprechendes gleichmäßiges Rotationssphäroid bilden. Auch dann, wenn sie aus Stoffen verschiedener Dichte bestünde, träfe dies zu in dem Sinne, daß „die Dichte in irgend einem Punkte einfach eine Funktion der Tiefe des Punktes unter der Oberfläche würde“[1]). Wie wir wissen, ist aber weder diese Homogenität, noch

1) Hammer, E., Die isostatische Lagerung der äußeren Erdschichten. Petermanns Mitteil 1906, Bd. LII, S. 190—191. (Referat über einen Vortrag von J. Hayford über die Isostasie. Proc. Washington Acad. Sci. 1906, Bd. VIII, S. 25—40.)

Digitized by Google

die gleichmäßige Oberfläche des Rotationsellipsoides in Wirklichkeit vorhanden. Die Verteilung der dichten und weniger dichten Massen, der Betrag ihrer Erhebung über bzw. ihrer Einsenkung unter das ideale Meeresnieveau sind durchaus ungleichmäßig. Jede durch die immerwährende Denudation des festen Landes auch fortwährend veranlaßte Sedimentbildung im Meere, jeder einigermaßen ausgedehnte vulkanische Erguß muß diese Verhältnisse immerzu um ein Weniges verschieben, und da wir aus der Erdgeschichte von ausgedehntesten Massenumlagerungen durch Denudation, Sedimentation, Vulkanismus, Faltengebirgsbildung, tektonische Schollenverschiebungen und Eisansammlungen wissen, so müssen dadurch stets ausgiebige Gleichgewichtsverschiebungen in der Erdrinde stattgefunden haben. Trotzdem finden wir heute die Erdoberfläche ziemlich im Gleichgewicht, die Einsenkungen der Ozeane sind roh kompensiert durch einen Dichteüberschuß, die Massen der Kontinentalgebiete durch eine Dichteverminderung, die sich in den höchsten Erhebungen, den Faltengebirgen, noch stärker ausprägt. Es sind jedoch Ausnahmen, bedeutende und unbedeutende, vorhanden. Suess, der ein scharfer Gegner der Isostasie ist, weil sie selbständiges Steigen der Schollen kennt, stellt die bedeutenderen zusammen: In den Karpathen liegt nach den Arbeiten Sternecks im Gegensatz zu Tyrol ein Dichtedefekt unter dem Vorlande, der sich weit in das Gebirge hinein erstreckt und dann plötzlich endet gegen ein Gebiet des Überschusses, das seinerseits ziemlich weit in das Gebiet der Ostalpen übergreift. Auch in Südtyrol ist schon innerhalb des Alpenkörpers Überschuß vorhanden, der sich bis in die Poebene erstreckt, aber bei Mantua einem Defekt weicht. Kohlschütter[1]) hat im ostafrikanischen Graben Massendefekt nachgewiesen, ebenso Haid vom Bodensee bis zum Rheintalgraben Dichtegegensätze[2]), und nach Supan herrscht im Bereiche des 9000 m tiefen Tongagrabens ein Massendefekt, auf dem anstoßenden, nur 3000 m tiefen Tongaplateau dagegen Massenüberschuß[3]).

Nimmt man an, daß der roh verwirklichte Massenüberschuß in den ozeanischen Senken, der Massendefekt unter den Kontinenten der Ausdruck eines Strebens der Erde ist, Gleichgewicht herzustellen, dann kann man die Ausnahmen vielleicht auffassen als Verzögerung des erst allmählich herstellbaren Massenausgleiches oder aber als Anzeichen nicht möglich gewordenen Ausgleiches. Jedenfalls ist nach der ganzen Natur des Erdkörpers eine stetige Tendenz zur Herstellung des Gleichgewichtes vorhanden, und die Erfüllung dieses Strebens, sowie die Mittel und Wege dazu faßt man zusammen unter dem Begriffe „Isostasie".

In den Urzeiten des Erdballes, als er durchweg eine flüssige Kugel war — falls man überhaupt von einer solchen Vorstellung noch ausgeben darf — ist der isostatische Ausgleich sehr einfach durch Strömungen zu erklären, durch welche schwerere Massen und leichtere sich so verteilten, wie es den Forderungen der Schwerkraft bzw. des Gleichgewichtes entsprach. Als sich aber eine feste, als Ganzes unzerstörbar gewordene Kruste gebildet, als sie sich in Kontinente und Meere differenziert und

1) Kohlschütter, E., a. a. O. (Zitat siehe S. 97).
2) Haid, M., Die Schwerkraft im badischen Oberlande. Ber. Vers. Oberrhein. geol. Ver., 38. Vers. Stuttgart 1906, S. 19—24.
3) Supan, A., Grundzüge der physischen Erdkunde, 5. Aufl., Leipzig 1911, S 16.

Digitized by Google

das Erdinnere die heutige Konstitution erlangt hatte, mußte auf andere Weise die Isostasie verwirklicht werden. Infolge der — aus irgend einer weit zurückliegenden anderen Ursache — seit langem vorhandenen Ungleichartigkeit in der Verteilung von Kontinentalsockeln und Meeresbecken hat sich der hierdurch hervorgetretene Widerspruch zwischen der Massenverteilung und den Forderungen der isostatischen Kraft durch einen Dichteunterschied ausgeglichen: die Erdkruste ist unter den Ozeanen und Inseln spezifisch schwerer als unter den Kontinenten; unter den Hochgebirgen sind geradezu Massendefekte vorhanden.

Herstellung des Gleichgewichtes bedeutet aber nichts anderes, als das Eintreten jenes Zustandes, bei dem an jedem Punkte der Oberfläche jener Grad von Schwerkraft herrscht, der diesem Punkte nach seiner Entfernung vom Erdmittelpunkte zukommt. Dieser Zustand scheint heute in einer gewissen Tiefe unter der Kruste stets verwirklicht zu sein, wohl wegen des ungeheueren dort herrschenden Druckes, der allen etwaigen Veränderungen in der Dichte und in der Lage einzelner Stoffkomplexe unmittelbar entgegenarbeitet und diese nicht aufkommen läßt. Es gibt also nur eine gewisse Tiefe, bis zu der auf ein Massenteilchen in den verschiedenen Richtungen verschieden starke Kräfte einwirken, unterhalb deren nach allen Seiten die gleiche Kraft wirkt[1]). Hayford gibt nach seinen Rechnungen über die Lotrichtungsanomalien im Gebiete der Vereinigten Staaten an, daß wohl in einer Tiefe von etwas über 100 km vollkommene isostatische Kompensation herrscht (isostatische Kompensationstiefe) und daß in dem genannten Gebiete der Ausgleich vielleicht bis über $^2/_3$ vorhanden ist. Infolgedessen kann man nicht annehmen, daß die Kompensierung von größeren Tiefen her erfolgt, sondern daß es sozusagen auf die äußerste Zone der Erde beschränkte Vorgänge sind, welche die isostatischen Bewegungen auslösen und zum Endziel führen. Allerdings bekam bei einer neueren Berechnung mit etwas veränderten Voraussetzungen[2]) Hayford statt der früheren 113 km Kompensationstiefe eine solche von mehr als doppelt soviel, aber immerhin dürfen wir doch als sicher annehmen, daß in nicht allzugroßer Tiefe das Gleichgewicht vollkommen ist. Jedenfalls muß unter der Kruste eine Fläche gleichen oder doch nahezu gleichen Druckes bestehen, d. i. die Ausgleichsfläche, die man zu 120 km vorerst annehmen kann. Der isostatische Ausgleich bezieht sich also jeweils nur auf die äußerste Zone der Erde, die wir uns, wie früher auseinandergesetzt wurde, als unterlagert von einer beweglicheren Zone magmatischen Charakters oder teilweise eingetaucht in diese denken müssen.

So, wie die äuß e Zone der Erdkugel heute gebaut ist, kann das einer gleichgroßen Kugel von Wasser entsprechende Rotationsellipsoid nicht mehr hergestellt werden, weil die Massen zu verschieden auf der Erdoberfläche verteilt und bis zu einem gewissen Grade auch zu stabil geworden sind. Die Verwirklichung der Isostasie ist also noch in der Form denkbar, daß die Kontinentalschollen im Sinne Wegeners wie ein Eisberg in das Magma eingetaucht schwimmen, aus weniger dichtem Material bestehen als jenes, das an den Ozeanböden frei zutage tritt, und daß bei Gewichtsauflagerung die Schollen bis zur Herstel-

1) Hammer, E., a. a. O. S. 190.
2) Rudzki, M. P., a. a. O. S. 222.

lung des „hydrostatischen" Gleichgewichtes etwas einsinken, bei Abtragung aber entsprechend steigen, wobei magmatisches Material unten nachfließt. Es sind damit ganz unabhängig von Krusteneinbrüchen und von irgend einer Art Kontraktion autonome Schollenhebungen und -senkungen gegeben, epirogenetische Bewegungen, die eintreten, wenn Massenumlagerungen, also Denudation, Materialverfrachtung und Sedimentation auf ihrer Oberfläche vor sich gehen. Denken wir uns eine etwas breitere Kontinentalscholle mit einem Hochgebirge. Dieses wird abgetragen, die Scholle steigt nach Maßgabe des entnommenen Gewichtes. Sie würde nicht steigen, wenn die abgetragenen Massen auf ihr selbst sofort wieder zur Ablagerung kämen, nicht auf einer Nachbarscholle und nicht ins Meer transportiert würden. Ähnlich kann nach WEGENER[1]) das allmähliche Absinken der Koralleninseln durch die infolge des Wachstums der Korallen herbeigeführte Belastung erfolgen; Massen von Inlandeis werden durch ihr Gewicht die kontinentale Unterlage herabdrücken, und nach dem Abschmelzen wird sie wieder steigen; Strandlinien, die sich während der Depression gebildet haben, steigen dann empor und zwar im Landinneren, wo die größte Eisansammlung lag, mehr als am Rande — es ist das Bild, das uns Skandinavien seit der Eiszeit bietet, worauf oben, S. 109, hingewiesen wurde. WEGENER führt auch spezielle Fälle an, in denen sich die Senkung durch Sedimentauflagerungen dem ziffernmäßigen Betrage nach beurteilen läßt. „Durch Bohrungen hat man die größte Tiefe der glazialen Grundmoränen bei Hamburg zu über 190, bei Utrecht zu 160, Berlin 125, Rüdersdorf 175 m festgestellt, bei Leipzig dagegen nur 16 m; als Durchschnitt kann 100 m angesehen werden. Die untersten Moränen liegen also heute erheblich unter dem Meeresniveau. Es ist aber nicht nötig, anzunehmen, daß sie auch schon bei der Ablagerung unter demselben lagen."

Man hat gegen die Forderungen der Isostasie eingewendet, daß unter der Herrschaft ihrer ausgleichenden Kraft überhaupt keine vollkommene Abtragung einer Landfläche bis zum Peneplainstadium möglich sei; denn in dem Maße, als die Abtragung erfolge und der Kontinentalklotz dadurch leichter werde, steige er auch isostatisch empor. Der Einwand ist nicht stichhaltig. Denn der isostatische Ausgleich hinkt zuweilen, vielleicht immer, nach, wie WEGENER sich ausdrückt[2]). „So steigt Skandinavien noch immer um etwa 1 m in 100 Jahren; die hohen Strandlinien können sich erst nach Fortgang des Eises, aber vor der Hebung gebildet haben." Offenbar hat das Aufsteigen eine äußerste Grenze dann erreicht, wenn die eingetretene Erleichterung den Block soweit hat emporsteigen lassen, daß tiefere, dichtere Massen in ein entsprechend höheres Sphärenniveau gerückt werden, wobei sie infolge ihrer Schwere jedoch nur um einen relativ viel geringeren Betrag aufsteigen können, als die Abtragung der höheren, weniger dichten Teile erfolgt. So hat RUDZKI unter den beiden denkbar günstigsten Voraussetzungen: 1. daß die Schichten unmittelbar unter der Erdrinde so plastisch sind, daß sie sich wie eine dicke Flüssigkeit verhalten; 2. daß die Erdrinde entweder biegsam ist oder

1) WEGENER, A., Die Entstehung der Kontinente. Peterm. Mitteil., Jahrg. 58, Gotha 1912, Bd. I, S. 189.

2) WEGENER, A., a. a. O. S. 192.

aus vertikal stehenden Prismen besteht, die gegeneinander verschiebbar sind, berechnet[1]), daß, wenn die Dichte von oben nach unten wächst, die durch Massenaufhäufungen veranlaßten Senkungen sehr bald ein Ende finden müssen. Und umgekehrt ergibt sich daraus, daß auch ein von der Denudation betroffenes Gebiet sich nicht endlos in entsprechendem Maße heben kann, sondern daß ein Grenzpunkt erreicht wird, von dem ab sich die Einebnung vollzieht — vorausgesetzt, daß nicht inzwischen andere Einwirkungen diesen Prozeß von sich aus unterbrechen.

Davis bräuchte also für seine Peneplainentwicklung von der Isostasie nichts zu fürchten. Er meint[2]), daß der Anschein eines isostatischen Ausgleiches erweckt werden könnte, wenn Depression und Deposition zufällig zusammenwirkten. Jedenfalls fordere die Tatsache, daß ganze Gebirge abgetragen worden seien, eine große lange andauernde Stabilität, und diese widerspreche dem „Gesetz" der Isostasie. Durch Rudzki ist aber jene Erscheinung trotz Bestehens der Isostasie erklärt, und wir haben eben auch hier wieder den Fall, daß es nicht angängig ist, ein „Gesetz", das einen gewissen Wirkungskreis besitzt, nun grenzenlos ausdehnen zu wollen. Es ließe sich ja auch, abgesehen von Rudzkis Nachweis, denken, daß die isostatischen Ausgleiche, welche etwa durch Abtragung eines Kettengebirges notwendig würden, aus irgendwelchen anderen hemmenden Ursachen (Reibung, Verkeilung von Schollen) nicht so prompt eintreten könnten, so daß inzwischen Zeit bliebe zur Peneplainisierung einer Region. Trotzdem würde die isostatische Ausgleichstendenz als solche bestehen, auch wenn sie gar nicht, oder erst später in Erscheinung träte, eben unter Überwindung anderer hemmender Ursachen.

Auf eine weitere Möglichkeit macht Wegener aufmerksam[3]). Das Niveau einer durch Materialauflagerung geschaffenen neuen Fläche muß vom spezifischen Gewicht des aufgelagerten Sedimentes abhängen. Entspricht jenes genau dem der schwereren Materie unter den Ozeanen, in die der Klotz eintaucht, so bleibt trotz Sinkens des Blockes infolge der Auflagerung das Oberflächenniveau konstant. Ist das Auflagerungsmaterial spezifisch schwerer, so sinkt das Oberflächenniveau trotz der vor sich gehenden Auflagerung. Ist deren spezifisches Gewicht geringer als das des Sima, so steigt die Fläche. Sedimente pflegen nun sogar etwas leichter zu sein als das Material der Kontinentaltafeln selbst, von denen sie stammen. Aus diesem Grunde wird es möglich sein, eine Mulde bis zur völligen Einebnung mit Sedimenten anzufüllen, ohne daß die Isostasie gestört wird; ja die Mächtigkeit der Ablagerungen kann sogar die anfängliche Tiefe der Mulde noch übertreffen.

Einen ähnlichen Gedankengang verfolgt Rühl. Man hat, sagt er[4]), bisher die Tatsache, daß die Denudationsflächen stets von jungen Erhebungen betroffen wurden und daher von neuem durch Erosion zerschnitten wurden, so gedeutet, daß eine vollkommene Peneplainisierung infolge der isostatischen Aufwärtsbewegungen praktisch nicht

1) Rudzki, M. P., Physik der Erde, Leipzig 1911, S. 222—226.
2) Davis, W. M., The theory of isostasy. Bull. Soc. geol. Americ., Vol. XXI, New-York 1910/11, S. 777.
3) Wegener, A., a. a. O. S. 189.
4) Rühl, A., Isostasie und Peneplain. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1911, S. 479—485.

Digitized by Google

zustandekommen könne; in dem Maße, in dem die Abtragung erfolge, mache sich eine Aufwärtsbewegung geltend. Daher auch das Verharren des Landzustandes trotz aller Abtragung. Dieser Auffassung setzt er nun die folgende entgegen: Die Denudation trägt eine gehobene Landmasse ab, das isostatische Gleichgewicht wird gestört. Nach Überwindung der Starrheit gehen die Schollen den Forderungen der Isostasie nach, die Aufwärtsbewegung setzt ein und unter der Erdkruste findet ein kompensierendes Nachfließen statt. Von neuem setzt energischer die Denudation ein, aber infolge der nach oben verringerten Plastizität erhebt sich bei abermaliger Auslösung der isostatisierenden Bewegung die Scholle nicht mehr zu ihrer alten Höhe und dies, entsprechend lang fortgesetzt, führt zur endlichen Abtragung.

Eine weitere für die Paläogeographie äußerst wichtige Konsequenz haben die isostatischen Bewegungen außerdem noch. Nehmen wir an, es wird durch Abtragung eines Kontinentalsockels eine Aufwärtsbewegung der betreffenden Scholle eingeleitet, dann kann sich diese Aufwärtsbewegung, auch wenn wir von allen Hemmungen und Ablenkungen durch seitlich angrenzende geotektonische Elemente absehen, nicht einfach in radialer Richtung vollziehen, weil durch die Rotationsbewegung der Erde noch eine zweite Kraft- bzw. Druckwirkung hervorgerufen wird, welche die einfache radiale Hebung beeinflußt. Durch das Aufsteigen wird nämlich die Scholle in ein Niveau gerückt, in dem sie wegen der etwas weiteren Entfernung vom Erdmittelpunkte eine größere Winkelgeschwindigkeit haben müßte. Bis diese ihr erteilt ist, wirkt die Scholle hemmend auf die Rotation ein, und zwar mit einem Horizontaldruck nach Westen, weil sich die Erde von Westen nach Osten dreht. Es kommt daher eine Resultante zur Geltung, und je nach den gerade vorliegenden tektonischen Verhältnissen der Scholle und ihrer Umgebung wird sich die Endbewegung weder genau in radialer, noch genau in horizontaler Richtung abspielen.

Also auch aus diesem Grunde kann das isostatische Steigen infolge der Abtragung nicht immer den entsprechenden Vertikalbetrag voll erreichen, und die Möglichkeit einer gänzlichen Einebnung ist trotz der Wirksamkeit der Isostasie hiermit ebenso einfach demonstriert, wie durch die oben schon besprochene Tatsache, daß die paläozoischen Gebirgsrümpfe nicht wieder bis zu ihrer früheren Höhe aufgestiegen sind.

Denken wir uns jetzt einmal, das tektonische Aufsteigen einer Festlandsscholle käme rein isostatisch zustande, etwa in dem Maße, als sie durch Denudation abgetragen wird. Umgekehrt: eine tektonische epirogenetische Senkung käme durch das Gegenteil, nämlich durch Massenauflagerung zustande. Ein Beispiel hierfür, die diluviale Inlandeisbedeckung, wurde ja in diesem Sinne, wie wir oben sahen, aufgefaßt. Zugegeben, das alles gelte, also die heutige Hebung Skandinaviens z. B. sei eine Nachwirkung der Befreiung von der diluvialen Inlandeisdecke, so bleibt doch eine andere und zwar die in der Erdgeschichte häufigste Art der Massenauflagerung isostatisch unerklärt, nämlich die durch marine Neusedimentation. Damit nämlich eine Sedimentauflagerung stattfinden kann, muß die Scholle zuvor, also während sie sich noch im Stadium der Abtragung befindet und daher isostatisch steigen soll, unter den Meeresspiegel verbracht worden

Digitized by Google

sein. Die Sedimentation kann in einem solchen Falle also nicht Ursache des Sinkens der Scholle bzw. Steigens des Meeresspiegels sein.

Das allein schon beweist die Unabhängigkeit epirogenetischer Bewegungen von der Isostasie. Stellt man sich auf den Standpunkt, daß das Meer selbst eustatisch transgrediert, dann braucht man, damit marine Sedimentanhäufung auf einer vorherigen Kontinentalfläche vor sich geht, auch andererseits keine Senkung derselben. Weiter bleibt es vom Standpunkte des Isostatikers völlig unerklärlich, warum ein mit Sedimenten soeben neu belasteter Meeresboden alsbald wieder über den Meeresspiegel aufsteigt; nach dem Gesetz der Isostasie müßte ja gerade das Umgekehrte erwartet werden: der von neuen Sedimenten belastete Kontinentalboden müßte weiter sinken. Nun sehen wir aber in der Erdgeschichte immer wieder, daß mit Sediment beladene kontinentale Meeresböden nach einiger Zeit von neuem emportauchen. Es ist also ganz ausgeschlossen, daß hierfür irgendwie die Isostasie als Erklärungsmoment in Betracht käme und darum ist es von Suess nur konsequent, wenn er von seinem Standpunkte aus die isostatische Lehre ablehnt. Es bleiben daher als wesentlich die von der Isostasie unabhängigen epirogenetischen Schollenbewegungen und eustatische Schwankungen des Meeresspiegels übrig, deren Ursachen anderswo gesucht werden müssen. Dann auch kommt als möglich in Betracht, daß isostatische Ausgleiche sich nach anderen Stellen übertragen können und epirogenetische Bewegungen an Stellen hervorrufen können, wo unmittelbar kein Anlaß zu isostatischen Ausgleichsbewegungen gegeben ist.

Auch noch aus einem anderen Grunde wäre es ein großer Fehler, zu glauben, daß isostatische Bewegungen sich in engbegrenzten Schollen stets als Folge von Massenverlagerungen auf diesen einstellen müßten. Abgesehen von dem schon erwähnten Fall, daß bei Massenverlagerungen innerhalb ein und desselben Schollengebietes von einer Änderung des Schweredruckes ja keine Rede sein kann, ist es auch bei Massenübertragungen von einer isostatisch kompensierten Scholle zur anderen denkbar, daß eine Vertikalbewegung dann unterbleibt, wenn eine solche Scholle derart verkeilt ist, daß sie sich unmittelbar nicht bewegen kann. Eine hierdurch entstehende Spannung wird sich seitwärts übertragen und ganz wo anders zur Auslösung gelangen, so daß möglicherweise die Herstellung des isostatischen Gleichgewichtes gelegentlich auch durch horizontale Verschiebungen bewirkt wird. Das wäre ein Gesichtspunkt, der die Isostasie mit den relativen Polverschiebungen und der Wegener'schen Theorie verknüpfen ließe.

Wenn somit auch die Isostasie im großen im Sinne einer Konservierung des alten Oberflächenniveaus prinzipiell wirkt, trotzdem dieses sich aber beständig ändert und große Umwandlungen und Vertikalverlegungen erfährt, so ist dies ebenso sehr ein Beweis gegen die allein ausschlaggebende Macht der Isostasie, wie die aus Rudzkis rechnerischer Beweisführung erklärlich werdende Tatsache, daß die alten abgetragenen paläozoischen Falten nicht mehr nachträglich zu ihrer ehemaligen Höhe wieder emporstiegen, was doch nach dem Schema des isostatischen Gesetzes eigentlich hätte eintreten sollen. Auch die Tatsache, daß Regionen mit außerordentlich mächtiger Sedimentbildung — wir kennen einheitliche Serien von mehreren 1000 m — wieder emporgehoben und zu Festland geworden sind, zeigt, daß außer der Isostasie auch noch andere aktive Kräfte auf die Ausgestaltung der

Erdkruste einwirken, welche die isostatischen Wirkungen oftmals weit mehr übertreffen, als sie selbst von diesen modifiziert werden. Eine Möglichkeit dieser Art deutet ANDRÉE in seinem schon verschiedentlich zitierten Buch über Gebirgsbildung an[1]). Er behandelt die uns im folgenden Abschnitt beschäftigende Anhäufung mächtiger Sedimentmassen in marinen geosynklinalen Sammeltrögen, die gelegentlich viele 1000 m betragen und doch den Charakter von Ablagerungen besitzen, die sich in höchstens nur 200 m Tiefe gebildet haben. Dabei entsteht die Frage, ob die hierzu notwendige Absenkung des ursprünglichen Meeresbodens eine primäre Erscheinung sei, welche erst jene ungeheure Sedimentation nach sich zieht, oder ob das Gewicht der hereintransportierten Materialien, wie der Isostatiker fordert, den Meeresboden entsprechend zum Sinken gebracht habe. Man hat in solchen Sedimentserien aber häufig eine entgegengesetzte Bewegung mitten darin wahrgenommen — wir brauchen nur an die ostalpine Rhät- und Doggerzeit zu erinnern, wo zweifellos eine Aufwärtsbewegung des Bodens stattfand, obwohl Trias und Jura zusammen im alpinen Gebiete eine ungeheuer mächtige, fortlaufend sedimentierte Serie bilden. „Hierdurch", so argumentiert nun ANDRÉE in dem angegebenen Gedankenzusammenhang an der zitierten Stelle, „hörte aber die Zufüllung entweder schließlich ganz auf, oder die Sedimentation wurde doch in der Weise abgeändert, daß die Gesteine immer mehr küstennahen Charakter annahmen. Daraus geht aber zweifellos hervor, daß, wenn überhaupt eine Einwirkung der Isostasie in dem angegebenen Sinne stattfindet, dieselbe doch mit Leichtigkeit von anderen, schneller wirkenden Vorgängen völlig aufgehoben, ja in das Gegenteil verwandelt, überholt werden kann".

3. Die Geosynklinalbewegungen.

Schon vor mehr als 50 Jahren hat der alte HALL die Ansicht ausgesprochen: die Regionen der größten Sedimentmächtigkeit fallen zusammen mit den Faltengebirgszonen der Erde[2]). Der Satz ist nicht so zu verstehen, daß infolge der Zusammen- und Übereinanderstauung der Sedimente in Faltengebirgen die orographische Mächtigkeit der Gesteine besonders groß wird; vielmehr ist es eine primär größere Materialmenge, durch welche ganze Zeitalter in alpinen Regionen repräsentiert sind gegenüber ihrer sedimentären Vertretung in außeralpinem Gebiet. Man braucht ja tatsächlich nur die Serie von Trias und Jura und Kreide der Alpen mit den gleichen Formationen des Vorlandes zu vergleichen, um sich davon zu überzeugen. Das gilt auch für andere Faltengebirge. In den Rocky Mountains ist allein das Kambrium viele tausend Meter mächtig, und HAUG berechnet die des Paläozoikums in den Appallachen auf 40000 Fuß, denen weit geringere Zahlen für die ungefalteten Regionen gegenüberstehen. Freilich darf man nicht jeweils ein einzelnes Glied herausgreifen und dieses alpin und außeralpin vergleichen, sondern nur die Gesamtheit der Sedimente eines längeren Zeitabschnittes. Der weiße Jura in Schwaben

1) ANDRÉE, K., a. a. O. S. 18/19.
2) HALL, J., Natural history of New York. Paleontology, Vol. III, Albany 1859, S. 69ff.

ist z. B. mindestens 400 m mächtig, während das Äquivalent in den Ostalpen, die roten oberjurassischen Cephalopodenkalke und die Aptychenschichten, bei uns nur auf etwa 300 m zu schätzen sein dürften. Aber die Gesamtheit der Ablagerungen von Trias und Jura ist. wenn man von einzelnen Ausnahmen absieht, in den Alpen doch bedeutend größer.

Besonders auffallend in den alpinen Gegenden ist auch die Beibehaltung ein und derselben Gesteinsfazies für längere Zeit an ein und derselben Stelle in vertikaler Richtung. Bekannt sind die viele 100 m mächtigen von unten bis oben gleichartigen Dolomitmassen, und wenn wir diese oder den mitteltriasischen Wettersteinkalk in einer Ablagerungs-, nicht Faltungsmächtigkeit von gelegentlich 800 m und mehr, wenn wir den Dachsteinkalk oder manche Dolomitmassen mit gleichen Mächtigkeiten sehen; wenn wir ferner jene Typen mit gleichalterigen außeralpinen Entwicklungen vergleichen, dann müssen wir zugeben, daß in jenen Gebieten ein Meeresbecken bestand, dessen Boden während der Ablagerung solcher von oben bis unten vielfach gleichförmigen und auf eine Entstehung in ziemlich flachem Wasser deutenden Massen eine stetige Senkung erfahren haben muß. Und eben diese mit dem Wachsen der Ablagerungen sich herstellende Wannenvertiefung, die jedoch als solche nicht immer in Erscheinung getreten ist, nennt man mit einem von Dana 1873 geschaffenen Ausdruck[1]) „Geosynklinalen".

Haug, dem wir eine systematische Durcharbeitung und Anwendung des alten Hall-Dana'schen Gedankens über Geosynklinalen verdanken[2]), hat in seinem Bestreben, eine möglichst vielseitige Charakterisierung derselben zu geben, gewisse hin und wieder auftretende Merkmale zu sehr verallgemeinert. Nach ihm ist charakteristisch für eine Geosynklinalregion:

1. die Mächtigkeit der Sedimente,
2. die vorwiegend hochpelagische Schichtausbildung mit entsprechendem Faunencharakter,
3. die Einheitlichkeit und Lückenlosigkeit der Sedimente,

Merkmale, die auch Suess früher[3]) schon als charakteristisch für alpine Regionen hervorgehoben hat, denen nach Haug in außeralpinen also nicht geosynklinalen Regionen

1. die geringe Mächtigkeit,
2. die vorwiegend Seichtwasser verratende, oft lagunäre Ausbildung,
3. die Lückenhaftigkeit der Sedimente

gegenüberstehen sollte. Man könnte zu dieser Charakterisierung allerdings geführt werden, wenn man etwa an die Ausbildung der oberen Trias, z. B. der Hallstädter Kalke im Gegensatz zum außeralpinen Keuper, oder an die Radiolarite und Aptychenschiefer des oberen Jura und den lückenlosen Übergang in die unterste Kreide in gleicher Ent-

---

1) Dana, J., On some results of earths contraction from coaling etc. (teste Haug, E., Traité, Tome I, S. 159 u. 170.)

2) Haug, E., Les géosynclinaux et les aires continentales. Contribution à l'étude des transgressions et régressions marines. Bull. Soc. géol. France, 3. sér., Tome XXVIII, Paris 1900, S. 617—711.

— Traité de Géologie. I. Les phénomènes géologiques, Paris 1907, S. 157—171.

3) Suess, E., Die Entstehung der Alpen, Wien 1875, S. 96 ff.

wicklung, oder an die Ausbildung des alpinen Lias in Form der Fleckenmergel, der bunten Cephalopodenkalke oder der westalpinen Schiefer im Gegensatze zu den Ausbildungsweisen im Vorland denkt, die teils weniger mächtig, teils in flacherem Wasser abgesetzt, teils nicht lückenlos entwickelt sind. Gleichwohl kann man das alles nicht als ein wesentliches Kennzeichen des Gegensatzes beider Regionen gelten lassen, wie HAUG es will; nur für einzelne Fälle und zeitweise trifft es zu, die Ausnahmen von der Regel sind allzu zahlreich. Unser alpiner Buntsandstein und unser alpiner Muschelkalk haben außerordentliche Ähnlichkeit mit den außeralpinen Vorkommen dieses Alters, und auch der auf den ersten Blick als ganz eigenartig erscheinende Liasfleckenmergel hat, wenn auch weniger mächtige, so doch petrographisch vollkommen idente Analoga im süddeutschen Jura. Denken wir ferner an die obertriasischen Raibler Sandsteine, Gipse, Rauhwacken, an die rhätischen Kössener Muschelbreccien, an die detritischen grauen Kalke des südalpinen Lias, an den Hiatus zwischen Lias und Malm, wo der Dogger vielleicht infolge Trockenlegung fehlt oder in Form von ganz gewiß nicht tief abgesetzten Brachiopodenkalken entwickelt ist, dann kommen die vielleicht als Tiefenabsätze im Sinne HAUGs zu bezeichnenden roten jurassischen Cephalopodenkalke und die Aptychenkalke und Hornsteine des Oberjura bzw. Neokom doch nicht mehr als ausschlaggebend für die Charakterisierung der alpinen Sedimentationsbezirke als Tiefenzonen in Betracht.

Vielleicht wäre noch am ehesten die auch an ältere Faltengebirge geknüpfte Flyschentwicklung als ein besonderes Charakteristikum für Geosynklinalzonen anzusehen. Der Flysch ist eine eigentümliche, außerordentlich fossilarme, aber sehr mächtige Sedimentbildung, bestehend aus einer eintönigen Folge von bald wohlgebankten, bald schieferigen, schwärzlichen bis grauen Mergeln, Tonschiefern, kieseligen Tonschiefern, Kieselkalken, feinen Sandsteinen, groben Sandsteinen und gelegentlich auch Konglomeraten, die in allen alpinen Faltungsgebieten, aber auch in Regionen alter längst abgetragener Gebirgsfalten als Repräsentant der allerverschiedensten Zeitalter entwickelt ist, während sie in außeralpinen Gegenden ganz fehlt. Gewiß lassen sich, wie das DEECKE getan hat[1]), eine Unzahl spezieller Merkmale anführen, welche auch in anderen Sedimenten wiederkehren und in einzelnen Fällen mag man Gesteine mit „Flyschcharakter" auch sonstwo bis zu einem gewissen Grade analog nachweisen können. Aber schließlich sind auch zwei Gebäude, etwa ein Dom und eine Dorfkirche in gewissem Sinne identisch oder haben eine Unmenge gemeinsamer Merkmale; auch ihr Gesteinsmaterial kann aus derselben Quelle stammen. Aber so wenig deshalb die Unterscheidung beider Begriffe zu verwerfen wäre, weil beide in vielen Einzelheiten, ja, abgesehen von der Größe, auch in ihrem Grundplan und Material bis zu einem gewissen Grade übereinstimmen, ebenso wenig kann man den spezifischen, an alpine Regionen geknüpften Flyschbegriff trotz aller Detailidentität auf Sedimente außerhalb übertragen, da er eben, als Ganzes betrachtet, auch etwas den alpinen Zonen Eigentümliches ist. Die Art des Auftretens und das ganze, man möchte fast sagen: Gebaren des Flysches ist eine spezifisch alpine Erscheinung.

1) DEECKE, W., Die alpine Geosynklinale. Neues Jahrb. f. Mineral. usw. Stuttgart 1912, Beil.-Bd. 33, S. 831—858.

Digitized by Google

Doch sei es mit der Flyschfrage, wie dem wolle, keinesfalls können die oben nach Haug angeführten Gegensätze ein stets brauchbares Unterscheidungsmerkmal zur jedesmaligen paläogeographischen Wiedererkennung früherer Geosynklinalen abgeben. Jenes gilt für die Faltungszonen von alpinem Charakter, wie wir sahen, nur sehr bedingt, und es versagt vollends in den mindestens ebenso wichtigen Fällen, in denen die ehemaligen Geosynklinalen später nicht zu Kettengebirgen wurden, wofür ich oben ein Beispiel angeführt habe. Wenn eine Geosynklinale in der Nähe des Festlandes liegt und zwischen sie und die Meeresküste sich kein anderes Meeresgebiet einschieht, dann wird sie im allgemeinen grobes detritogenes Material erhalten, es werden sich in ihr keine „pelagischen“ Sedimente ablagern. Schieht sich zwischen sie und die Küste aber ein mehr oder minder breites Meeresgebiet ein, dann werden sich die vom Land zugeführten detritogenen Materialien bereits in der Hauptsache in diesem absetzen und in der Geosynklinalregion wird sich ungehindert ein pelagisches Sediment bilden können. Aber es ist auch denkbar, daß in einer unmittelbar an der Küste sich absenkenden Geosynklinale ein pelagisch reines Sediment zum Absatz kommt, wenn nämlich vom Lande nichts herbeigeschafft wird, keine Flüsse münden, keine von der Brandung zerstörte Steilküste vorhanden ist. Der Sedimentcharakter einer Geosynklinale ist also keinesfalls ein mit ihrem Wesen untrennbar verknüpftes Merkmal, sondern lediglich ein Produkt aus ganz andersartigen, außerhalb liegenden Faktoren und Zuständen. So können auch einmal limnische, ja terrestre Sedimente in einer Geosynklinale sich bilden, dann nämlich, wenn ihre Einsenkung mit der Sedimentation zufällig einmal nicht gleichen Schritt hält, sie also ausgefüllt wird, oder wenn sie sich zeitweise soweit hebt, daß die unmittelbar zuvor gebildeten Marinsedimente als Landboden trockenliegen. Derartige Hebungen, auch wenn sie nicht bis zur Gebirgsbildung führen, gehören aber nach Haugs eigener Darstellung zum Begriff Geosynklinalgebiet, und er kann daher in die Begriffsdefinition nicht zwei Merkmale hereinnehmen, die sich gegenseitig ausschließen.

Ich halte es hier daher mit Stille, wenn er sagt[1]): „Die Geosynklinale ist ein Fundamentalbegriff der tektonischen Geologie geworden, der aber mit allerlei Forderungen belastet worden ist, die in vielen Fällen erfüllt sind, die vielleicht auch gerade für die Urtypen der Geosynklinalen zutreffen, die aber schließlich nicht das Wesen der Sache, sondern nur Nebendinge betreffen. So hat man als Charakteristikum einer echten Geosynklinale verlangt, daß ausschließlich „pelagische“ Sedimente, d. h. solche etwas größerer Meerestiefen, in ihr zur Ablagerung kommen; man hat ferner verlangt, daß die echte Geosynklinale die Form eines langen Troges besitzen muß. Aber diese Dinge haben meines Erachtens mit dem Wesen der Sache nicht viel zu tun; dieses ist getroffen und auch erschöpft, wenn wir die Geosynklinale als einen säkulär sinkenden Sedimentationsraum definieren.“ Nur muß als notwendige Ergänzung zu dieser Definition noch die Komplementärbewegung, die säkuläre Hebung, im Wechsel mit der säkulären Senkung hinzukommen. Und hier haben wir den wesentlichen Punkt, den Angelpunkt der ganzen Geosynklinalfrage vor Augen: den Gegensatz zwischen labilen Geosynklinalzonen und verhältnismäßig stabilen

1) Stille, H., Tektonische Evolutionen und Revolutionen in der Erdrinde, Leipzig 1913, S. 6, 7.

Digitized by Google

Extrageosynklinalgebieten, wodurch uns einer der Mechanismen enthüllt wird, unter denen auch Trans- und Regressionen der Meere vor sich gehen.

„Dauerland" nennt STILLE das, was im Gegensatz zu den immerfort labilen Geosynklinalbezirken stets mehr oder minder Land bleibt und nur episodisch überflutet wird, um alsbald wieder, meist mit gering mächtigem Sediment bedeckt, trockenzuliegen; HAUG nennt diese Regionen „Aires continentales". „Wechselland" sind die Geosynklinalen, die abwechselnd stark sinken und dann sich wieder hoch heben. Die Auffaltungen sind aber nur die kurzen Momente, es sind die „Revolutionen"; die Absenkung, die Periode der Sedimentation ist ein stiller Vorgang, die Zeit der „Evolution". „Die Evolution des Bodens muß die Plätze erst reif oder wieder reif machen, damit die Erdrevolutionen in ihnen eine Stätte finden können." Danach ergibt sich der Zyklus:

Senkung und Sedimentation[1]),
Hebung, eventuell bis zur Faltung,
Abtragung und Senkung,
Senkung und Sedimentation,
Hebung, eventuell Faltung.

Aber man darf nicht meinen, daß sich dieser Zyklus endlos wiederholen müßte. Er hat seine zeitlichen Grenzen und auch gelegentlich seine Unterbrechungen und Modifikationen, denn auch der Mechanismus der Geosynklinalbewegung arbeitet nicht für sich allein, sondern ist gebunden an die Wirksamkeit anderer Umstände, die sich ebenfalls Geltung zu verschaffen suchen, sich über ihn legen, ihn hemmen oder ihn zum Erlöschen bringen können.

Die in den Geosynklinalen abgesetzten Sedimente eines längeren geologischen Zeitraumes betragen, wie gesagt, oft weit über 1000 m, und doch haben sie nur in seltenen Fällen den Charakter von Absätzen aus solchen Tiefen. Die Geosynklinale ist also wahrscheinlich nie ein besonders sichtbarer orographisch-geomorphologischer Zug im Antlitz der Erde gewesen, sondern nur eine labile Zone, im Gegensatz zu den umliegenden stabileren Zonen.

HAUG gibt sich daher wohl einer falschen Auffassung der Geosynklinalen hin, wenn er sie als Zonen mit bathyalen Sedimenten anspricht im Gegensatz zu ihren neritische Sedimente tragenden Randzonen und sie als tiefe Kanäle zwischen Kontinentalgebieten ansieht. Denn wir kennen außerordentlich viele Fälle, in denen Geosynklinalgebiete, also z. B. die Alpen, ganze Zeitstufen in rein neritischer Fazies enthalten, während gleichzeitig außerhalb auch neritische Fazies herrscht. Und ferner können auch, wofür wir später noch Gründe beibringen werden, die Geosynklinalmeere sehr wohl als epikontinentale aufgefaßt werden, die in keiner Weise mit interkontinentalen Ozeanbecken heutiger Zeit zusammengeworfen werden sollten.

Es ist darum auch ganz irrig, wenn man in den heutigen ozeanischen Gebieten Geosynklinalstreifen und damit Stellen künftiger Gebirgsbildung dadurch entdecken will, daß man tiefe, relativ schmale Rinnen aufsucht.

1) Grundschema von STILLE, jedoch etwas abgeändert.

Auch zeigt die geologische Erfahrung, daß geosynklinale Senkungen mit Vorliebe sich wieder an den früheren Orten einstellen und daß daher die Wahrscheinlichkeit besteht, daß gewisse Faltengebirgsregionen in der geologischen Zukunft wieder zu Geosynklinalwannen werden. Haben wir doch in unseren alpinen Regionen schon am Ende des Paläozoikums ein Faltengebirge gehabt und doch im Mesozoikum wieder die Geosynklinale. Man konnte auf der vorweltlichen Erdober fläche also Geosynklinalen wohl kaum als orographisch deutlich abgehobenes Gebilde sehen — im Gegenteil: sie werden in den meisten Fällen seichter oder wenigstens nicht tiefer gewesen sein, als andere gleichzeitige epikontinentale Meere.

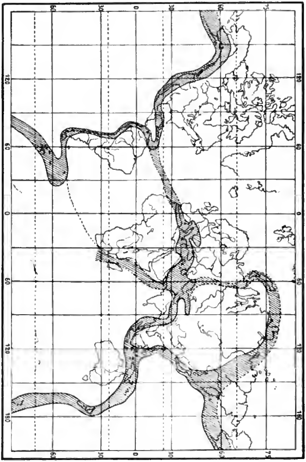
Wenn wir heute unmittelbar unter dem Meeresspiegel die Riffkorallen in der 40 m-Zone leben sehen und wir finden bei genauerer Untersuchung Riffstöcke von 800—1000 m vertikaler Mächtigkeit, dann läßt sich diese Erscheinung mit Darwin bis jetzt nur so erklären, daß eine langsame Senkung des Meeresbodens, auf dem das Riff zu unterst aufsitzt, im Laufe der Jahrhunderte stattfand und daß im selben Maße die Korallen nach oben wuchsen, wie sie unten infolge der Absenkung unter der 40 m-Grenze abstarben. Diese Senkung von 1 km ist jedoch im Areal des Riffes selbst gar nicht als orographischer Zug vorhanden, über dem Riff liegt gar kein Meer oder höchstens nur ein solches von 40 m Tiefe. Wenn wir analog in den Alpen mächtige Dolomitriffe oder den Muschelkalk und Wettersteinkalk der mittleren Trias in gleichbleibender Fazies entwickelt sehen, so muß dort, wo sie entstanden, dermaleinst der gleiche Vorgang sich abgespielt haben, wie bei der Entstehung rezenter Riffe. Das Meer war in der Alpentrias vielleicht kaum je tiefer als drüben im germanischen Triasgebiet, wo sowohl die Mächtigkeit der gleichalterigen Sedimente geringer ist, wie auch der Meeresboden eine größere Stabilität zeigt.

Vergegenwärtigt man sich aber einerseits den Betrag der Absenkung des Bodens der Geosynklinalregion im Augenblick des Beginns der Ablagerung bis zur Beendigung der Auffüllung, andrerseits die Hebung in alpine Höhen, dann hat man einen Pendelausschlag hier vor Augen, an den die Bodenschwankungen der Extrageosynklinalgebiete auch nicht im entferntesten herankommen, und trotzdem war orographisch der Ausschlag nach abwärts vielleicht nie als Furche im Antlitz der Erde zu sehen.

Diese Mobilität und zugleich ihr Gegensatz zu der absoluten oder relativen Ruhe umliegender Gebiete ist das wesentlichste Kennzeichen der Geosynklinalregionen. Die Faltengebirgsbildung ist nur der extremste Grad dieser Beweglichkeit und ein häufiges, wenngleich nicht absolut notwendiges Kennzeichen. So verhält sich z. B. im Jura und in der Unterkreide der damals von der Gangesmündung heruntergehende, Westmadagaskar einschließende alte „Kanal von Mozambique" wie eine Geosynklinale im Gegensatz zu Ostafrika und doch hat sich in ihm späterhin kein Hochgebirge aufgefaltet.

Haug bezeichnet, wie schon gesagt, die Geosynklinalen, die auf beifolgender Kartenskizze, Fig. 20, für das Mesozoikum dargestellt sind, als labile schmale Streifen zwischen zwei Kontinentalgebieten. Ich möchte demgegenüber aber die Möglichkeit betonen, daß die Geosynklinalmeere nicht in einem absoluten Gegensatze zu Kontinentalgebieten stehen, sondern vielleicht nur epikontinentale Senkungs-

regionen mit besonders großer Labilität des Bodens waren. Ich komme darauf später noch im Abschnitt über Gebirgsbildung zurück und möchte hier nur einstweilen betonen, daß die Zusammensetzung der Faltengebirge aus salischem Material es von vornherein unwahrscheinlich macht, daß sie aufgestaute simatisch-ozeanische Krustenteile sind, zumal sie dann auch keinen Massendefekt zeigen dürften. Ich wende



Figur 20.

daher, wenn ich die außerhalb der Geosynklinalzonen gelegenen Teile der Erdoberfläche bezeichnen will, stets den Ausdruck „Extrageosynklinalgebiete" der Kürze halber an, wobei es dahingestellt bleiben kann, ob dies Meere oder Landgebiete sind. Letzteres ist im einzelnen Falle, wenn nötig, genauer anzugeben. Daß die Geosynklinalen relativ schmale Meeresstreifen waren, scheint aus der Kartenskizze zwar ohne weiteres hervorzugehen, doch wird hier die aus dem Augenschein ge-

wonnene Auffassung ein Opfer des Mißstandes, daß die auf heutige Oberflächenkarten der Erde eingetragenen vorweltlichen Meereszonen in Faltengebirgsarealen naturgemäß oft viel zu schmal ausfallen müssen, weil ja die Erdkruste an diesen Stellen vielfach verkürzt ist um den Betrag, den die Zusammenfaltung der Schichten gegenüber ihrer ursprünglichen Ablagerungsbreite durch die tangentiale Zusammenschiebung erreichte.

Aus der von ihm als sicher angenommenen Einklemmung der Geosynklinalmeere als schmaler Streifen zwischen Kontinentalmassen schloß Haug z. B. auf die ehemalige Existenz eines pazifischen Kontinentes zur mesozoischen Ära[1]). Auf diesem Wege versuchte ich ihm zu folgen in einer referierenden Darstellung des Jura an den Rändern des pazifischen Ozeans[2]). Andrée will aber diese Beschränkung des Geosynklinalbegriffes nicht gelten lassen[3]) und ich glaube entgegen meinem zitierten früheren Standpunkte, mich seiner Auffassung anschließen zu sollen. „Der pazifische Kontinent", sagt er, „ist vollkommen hypothetisch, und es scheint mir, als ob der Wunsch, den von zwei Kontinentalmassen auf die zwischengelagerte Geosynklinale auszuübenden Druck zu haben, in welchem Haug offenbar noch befangen ist, der Vater des Gedankens der stets interkontinental gelegenen Geosynklinalmeere gewesen ist. Es ist vielmehr durchaus wahrscheinlich und den Gesetzen der Sedimentation nicht zuwider, daß die Geosynklinalen des Mesozoikums und früherer Epochen nicht nur unseren interkontinentalen Mittelmeeren, sondern auch unseren heutigen Randmeeren, wie den ostasiatischen entsprechen". Und ich glaube, daß sie sogar rein epikontinentale Meere gewesen sind. Davon weiter unten.

Nach Stille ist das niederdeutsche Becken, in dem sich die bekannten, „saxonischen Faltungen" abspielten, eine Geosynklinale gewesen (Fig. 21). Wenn man unter dem Wort Geosynklinale nicht mehr begreifen will, als eine wannenförmige Einsenkung mit Sedimentanhäufung, dann mag dieser Ausdruck auf das mitteldeutsche Becken Anwendung finden. Wenn man aber unter Geosynklinalen jene eigenartigen Zonen versteht, welche über die ganze Erde hin zu einer gewissen Zeit sich inbezug auf Hebung und Senkung im wesentlichen gleichartig verhalten und mit deren Vertiefung Regressionen, mit deren Verflachung Transgressionen überall in den außerhalb liegenden Gebieten sich einstellen, und wenn man an die aus solchen Geosynklinalen hervorquellenden Ketten- und Faltengebirge von alpinem Typus denkt, wird man das niederdeutsche Becken nicht schlechtweg als Geosynklinalgebiet im tieferen Sinne bezeichnen dürfen.

Nun könnte man ja darauf hinweisen, daß auch im niederdeutschen Becken Faltungen — eben die saxonischen Stilles — sich abgespielt haben. Diese Faltungen, die wir hier, wenn auch nicht als Analoga der alpinen, anerkennen wollen, obwohl sie von anderer Seite über haupt lebhaft bestritten werden, zeigen für jeden, der den Charakter alpiner Faltenbilder auch im kleinen kennt, eine ganz und gar andere

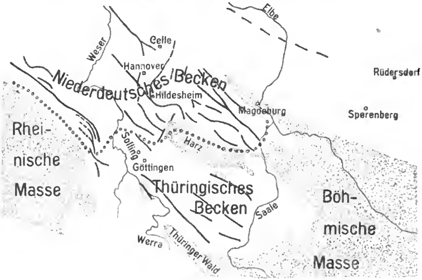
1) Haug, E., Traité de Géologie, I, Paris 1907, S. 169/70.

2) Dacqué, E., Die Stratigraphie des marinen Jura an den Rändern des Pazifischen Ozeans. Geol. Rundschau, Bd. II, Leipzig 1911, S. 493.

3) Andrée, K., Über die Bedingungen der Gebirgsbildung, Berlin 1914, S. 25—27.

Digitized by Google

Natur, als die aus echten Geosynklinalgebieten hervorgegangenen[1]). Außerdem liegt das Wesen der Rahmenfaltung primär in einer Abwärtsbewegung, das einer alpinen geosynklinalen Faltung primär in einer Aufwärtsbewegung. Stille sagt selbst, daß z. B. die saxonische Rahmenfaltung um so intensiver ist, je tiefer das von ihr betroffene Feld liegt[2]). Daß hier tangentialer Druck in erster Linie wirksam war, mag ohne weiteres zugestanden werden, genau so, wie auch der Schweizer Faltenjura kein „alpines“ Gebirge ist, sondern seine Wellung erhielt durch den von dem Alpenkörper ausgehenden lateralen Druck. Ferner sollen nach Stilles eigenen Ausführungen



Figur 21.

die Widerlager seines saxonischen Faltensystems, die sogen. Rahmen (rheinische Masse, herzynisch-böhmische Masse) gehobene, die Faltungsbezirke gesunkene Felder sein — ein weiterer typischer Gegensatz zu alpinen Bewegungen. Ferner erklärt Stille den Rohbau (Umrahmungs- und umrahmtes Gebiet zusammen) als ein durch seitlichen Druck in flache Wellen von großer Amplitude gelegtes Areal; „die Wellenberge sind die Rahmen, die Wellentäler sind die sinkenden Felder“. Ist das nicht der schärfste Gegensatz zu alpinen Gebieten? In diesen geht die Faltung im wesentlichen nur in der Geosynklinalregion und zwar nach aufwärts vor sich.

Ich möchte daher gegenüber Stille den Begriff Geosynklinale streng auf jene Gebiete beschränkt wissen, die in ihren Auf- und Ab-

1) Näheres hierüber bei Lachmann, R., Zur Klärung tektonischer Grundbegriffe. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. LXVI, Berlin 1914. Monatsber., S. 227—244.

2) Stille, H., Senkungs-, Sedimentations- und Faltungsräume. Compt. rend. XI. Congr. géol. intern. 1910, Fasc. II, Stockholm 1912, S. 823.

wärtsbewegungen im Hinblick auf die allgemeinen großen Trans- und Regressionen sich gegensätzlich zu den anderen Gebieten verhalten, wenn es auch im einzelnen oft Ausnahmen gibt, welche der allgemeinen Regel keinen Eintrag tun. Wenn STILLE ferner von dem mitteldeutschen Rahmenfaltungsgebiet sagt, es sei eine Geosynklinale gewesen, denn in ihm zeige sich gleichfalls eine große Mächtigkeit der Sedimente, also so, wie in alpinen Geosynklinalen, so ist dem entgegenzuhalten, daß jedes Senkungsfeld, in das terrigenes Material zugeführt wird, wegen der Tieferlegung der Erosionsbasis auch große Massen von Sedimenten an sich zieht. Was aber seine mitteldeutsche „Geosynklinale", in der sich die saxonische Faltung abspielte, prinzipiell von den alpinen Geosynklinalen unterscheidet, ist die Mitbewegung der Widerlager, der Rahmen, die sich zum Teil über die Falten des eigentlichen angeblichen Geosynklinalfeldes schoben, so daß also die Bewegung und Faltung gar nicht von der Geosynklinale selbst, sondern von ihren Rändern ausgingen, genau entgegengesetzt dem von uns angenommenen alpinen Gebirgsbildungsprozeß. Es würde sich daher empfehlen, für solche Senkungs- und Hebungsfelder, die das sind, was HAUG im Gegensatz zu den Geosynklinalen „aires d'ennoyage" nennt, einen eigenen Namen einzuführen. Tatsächlich verdienen auch, von diesem Standpunkt aus betrachtet, die Rahmenfaltungen nur den Namen epirogenetischer Bewegungen, wenn wir unter orogenetischen jene von alpinem Charakter verstehen, die aus „echten" Geosynklinalen geboren wurden und bei denen nicht Zerrung und Pressung das Ab- und Aufsteigen bewirkte, sondern innere Kräfte, wie wir das im Abschnitt 5 dieses Kapitels ausführen.

4. Die Trans- und Regressionen.

Wenn es, woran nicht gezweifelt werden kann, vertikale Abwärtsbewegungen in der salischen Erdkruste gibt, sei es längs Brüchen oder nur als einfache bruchlose Abbiegungen, dann ist damit eine einfache Erklärung für lokale Transgressionen, für Neuentstehung von Meeresbedeckungen gegeben. Das in dem großen ostmediterran-afrikanischen Grabenbruchsystem liegende Rote Meer ist ein Beispiel hierfür, und in diesem Zusammenhange betrachtet kann es nur als Zufälligkeit gelten, wenn nicht auch das Gebiet des Toten Meeres und der ostafrikanische Teil des großen Grabenbruches vom Meere überflutet wurde. Solche Senkungen können aber nur lokalen Charakter haben und den Stand des Meeresspiegels an den übrigen Küsten kaum merkbar beeinflussen. Das Gleiche müßte im umgekehrten Sinne der Fall sein bei lokaler Hebung von kontinentalen Schollen, die vorher meerbedeckt waren. Diese Vorgänge, über deren mögliche Ursache schon einiges gesagt wurde, werden also nie universellen Trans- und Regressionserscheinungen zur Erklärung dienen können und es wäre eine gewagte und durch nichts zu begründende Hypothese, wenn wir etwa einen Kontinent von der Größe des Stillen Ozeans versinken ließen, um dadurch eine große universelle Regression auf anderen Kontinenten zu erklären. Abgesehen davon, daß wir dann auch für jede gleich große Transgression einen solchen Kontinent auftauchen lassen, ja die oftmalige Wiederholung dieses Prozesses fordern müßten, weil wir vielen ausgedehnten Trans- und Regressionen in der Erdgeschichte begegnen, spricht gegen diese Idee auch die Tatsache, daß die großen

Digitized by Google

Überflutungen und Zurückflutungen nicht auf einen Schlag, sondern in verschiedenen Regionen unterschiedlich verliefen.

Auch von großen eustatischen Umsetzungen der Hydrosphäre, wodurch die Meere einmal nach dem einen, dann wieder nach dem anderen Pol zu fluten trachteten, ist empirisch in der Erdgeschichte nichts zu merken; man hat sie, was nebenbei bemerkt sei, aus Schwerpunktsverlegungen des Erdballes theoretisch zu konstruieren versucht. Ihnen steht gegenüber die von Haug in folgenden Sätzen formulierte Tatsache[1]): Die Transgressionen verlaufen nicht alternierend auf beiden Hemisphären, sondern gleichzeitig auf jeder Seite des Äquators und ebensogut gleichzeitig an diesem, wie an den Polen; und sie sind auch nicht universell, d. h. nicht einheitlich.

Wenn man die Trans- und Regressionen der Meere und zugleich die wechselnden Verflachungen und Vertiefungen verfolgt und auf ihre Gleichzeitigkeit prüft, dann bemerkt man eine unverkennbare Beziehung zwischen dem Ablauf dieser Vorgänge in den labilen Geosynklinalregionen einerseits und den weniger labilen Extrageosynklinalregionen andrerseits, und zwar in dem Sinne, daß im allgemeinen den Trockenlegungen oder Verflachungen der Geosynklinalmeere mehr oder minder ausgreifende Transgressionen in Gebieten außerhalb derselben entsprechen und umgekehrt: den Vertiefungen der Geosynklinalmeere Rückzüge von den nicht geosynklinalen Kontinentalflächen. Haug verdanken wir die Formulierung der hiermit aufgedeckten wichtigen Gesetzmäßigkeit, die in der Erdgeschichte überraschende Bestätigungen findet. So ist die Zeit des mittleren Karbon ausgezeichnet durch weitausgreifende Gebirgsfaltungen in alten Geosynklinalgebieten und gleichzeitig mit diesem Emportauchen der Geosynklinalen stellt sich eine ebenso ausgedehnte Transgression in Mittelamerika, Ostasien, Nordafrika und Rußland ein. Im Jura ist, abgesehen von Europa, das Liasmeer im wesentlichen in Geosynklinalregionen zusammengezogen, die im Dogger sich zusehends verflachen, während gleichzeitig in Nordamerika, Rußland, Ostasien, Indien, Ostafrika und Australien mehr oder minder weite Epikontinentalmeere durch Transgressionen sich bilden, im höheren Malm und der Unterkreide dagegen eine erneute Vertiefung der Geosynklinalzonen, ein Rückfluten des Meeres dorthin statthat und demgemäß die Ausdehnung der Transgressionsmeere wieder zurückgeht.

Diese Verhältnisse sind für die Jurazeit auf dem S. 25 gegebenen, roh schematischen, zum Teil auf Haug gegründeten Kärtchen, Fig. 5, veranschaulicht. Der großen Doggertransgression entspricht im allgemeinen eine Verflachung der Geosynklinalmeere; sie spielt sich teils im Bajocien und Bathonien, teils erst im Callovien und Oxford ab; auf dem Kärtchen ist sie vereinheitlicht. Die Erdkruste ist kein Uhrwerk, das exakt auf die Minute funktionieren kann, und schon oft wurde betont, daß keine Gesetzmäßigkeit bei geologischen Vorgängen sich unbehindert entfalten kann, sondern immer wieder von anderen durchkreuzt wird. So kommt es zuweilen vor, daß einzelne Teilgebiete von Geosynklinalen bei Auf- und Abwärtsbewegungen nachhinken. Die neuseeländische mittel- und spätmesozoische Geosynklinale z. B. setzt erst im Tithon wieder mit einer erneuten Vertiefung ein, während der himalayische und alpine Teil dies schon im unteren oder mittleren

1) Haug, E., Traité de Géologie, I, Paris 1907, S. 500.

Malm tut, als die große Dogger- und Oxfordtransgression in den Extrageosynklinalgebieten zurückging. Die westamerikanische Geosynklinale erlebte zur oberen Jurazeit, mit Ende des Kimeridge eine Gebirgsbildungsbewegung, die uns in der europäischen alpinen Geosynklinale erst unmittelbar nach dem Neokom und vor dem Cenoman begegnet. Trotzdem hat das Geosynklinalgesetz als Ganzes genommen seine Richtigkeit. Indessen kann gar keine Rede davon sein, daß diesem Bewegungsrhythmus insofern allgemeine Bedeutung zukäme, daß nun die Trans- und Regressionen ausschließlich von ihm abhängig wären. Mit ihm ist nur ein einziger der vielen Fäden bloßgelegt, aus denen das verwickelte Ursachengewebe der Trans- und Regressionen besteht.

Wenn wir zunächst bei den Geosynklinalbewegungen als solchen noch einen Augenblick bleiben und sie durch die Zeitalter der Erdgeschichte verfolgen, dann sehen wir sie selbst schon in sich kompliziert. Alte Geosynklinalen oder Teile von ihnen werden Land, und wenn nachher die rückläufige Bewegung einsetzt, dann verharren sie in einzelnen Teilen oft noch einige Zeit im vorherigen Zustand, ihre Bewegung hinkt nach oder sie bleiben wohl auch dauernd stehen und die vorher in ihnen erzeugten Falten vermehren von da an dauernd das ältere Festland, an das sie sich angelegt hatten, um sich dann in Zukunft wie dieses zu verhalten. Neue Geosynklinalen entstehen oder brechen wieder auf an Stellen, die lange Zeit sich passiv verhalten hatten, nachdem sie früher die Geosynklinalcharaktere gezeigt hatten. Außerdem verhält sich die Geosynklinalerscheinung in den aufeinanderfolgenden Erdzeitaltern auch insofern verschieden, als die ältesten Geosynklinalregionen, besonders des Silur und Devon, größere Breite und Unbestimmtheit ihrer Umrisse zeigen und in ihren einzelnen Teilen sich Bewegungen gegenüber ungleichmäßiger verhalten. Erst nach den alten silurisch-devonischen Gebirgsfaltungen gewinnen die Geosynklinalen bestimmtere Umrisse, und die Gegensätzlichkeit in den Trans- und Regressionen zwischen ihnen und den stabileren Extrageosynklinalarealen prägt sich deutlicher aus, wie das Karbon schon zeigt. Im Mesozoikum und zwar besonders im Jura, weniger in der Kreide, scheint der Wechsel am typischsten entwickelt zu sein und der ganze Geosynklinalmechanismus am einheitlichsten zu funktionieren; im Tertiär läßt die Erscheinung schon wieder bedenklich aus, jedoch aus einem anderen Grunde als im früheren Paläozoikum, nämlich infolge ihres Erlöschens durch universale Gebirgsbildung.

Man muß berücksichtigen, daß sich der Charakter, der innere Aufbau der Erdkruste seit den ältesten Zeiten schrittweise geändert hat und daß die Bewegungserscheinungen darum in stets veränderter Gestalt aufgetreten sind. Die Gebirgsfaltung ist in Europa und Asien im ganzen von Norden nach Süden gewandert, weil die einmal endgültig entstandenen Gebirge auch nach ihrer eventuellen oberflächlichen Abtragung nur in selteneren Fällen eine erneute geosynklinale Absenkung gestatteten. Die salische Kruste, vielleicht ehedem geschlossen sich um den Erdball ziehend, hat durch die Faltungen sich verkleinert, Zwischenräume zwischen ihren einzelnen Teilen gebildet und eine geringere Labilität bekommen. Die Geosynklinalzonen wurden auf diese Weise enger, räumlich beschränkter, die Widerstände gegen Bewegungen innerhalb der Kruste mannigfaltiger und stärker, und damit zugleich mußten sich die Geosynklinalzonen gelegentlich ab-

Digitized by Google

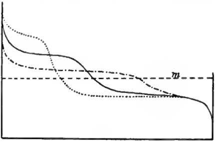
lenken und verschieben lassen, die sie erzeugende Ursache konnte nicht mehr so frei walten wie zuvor. Die frühpaläozoische Unbestimmtheit jenes Transgressions- und Regressionsrhythmus hat daher eine andere Ursache, als die spätere Unbestimmtheit zur Kreide- und Tertiärzeit: hier war es die inzwischen eingetretene Versteifung der Kruste, dort die zu große Widerstandslosigkeit; dazwischen, vom Spätpaläozoikum bis zum Ende des mittleren Mesozoikums liegt also das Optimum für eine möglichst reine, wenn auch nicht vollkommene Auswirkung des Rhythmus der Geosynklinalen.

Wenn aber auch in den eng geschlossenen mesozoischen Geosynklinalen, die sich ziemlich einheitlich in ihrer Auf- oder Abwärtsbewegung verhielten, Differenzbewegungen, z. B. ein Nachhinken eines Teiles stattfindet, so sind folgende Gründe möglich: entweder verhält sich der zu der Bewegung Anlaß gebende subkrustale Vorgang, der hypothetisch ist, lokal verschieden, oder es sind Hemmungen, Verkeilungen, tangentiale Spannungen bzw. Drucke daran schuld, oder es konnte ein unterdessen wirksam gewordener isostatischer Ausgleich von Schweredifferenzen im Spiele sein. Andrerseits können Trans- und Regressionen, die nicht mit Geosynklinalbewegungen korrespondieren, von Schollenverwerfungen in extrageosynklinalen Gebieten bewirkt sein, oder es können eustatische universelle Verlagerungen der Meere aus zunächst unbekannten Gründen maßgebend sein — kurz die Möglichkeiten zu einer Verwischung des Geosynklinalgesetzes erscheinen bei einigem Nachdenken mannigfaltig genug.

Eine Geosynklinale ist in Wirklichkeit wohl niemals ein einheitliches gleichartiges Senkungs- und Hebungsfeld, sondern sie verhält sich, sei es quer, sei es längs, in ihren einzelnen Teilen vielfach verschieden. So kann sie ihrer Längsrichtung nach durch eine Erhebung, eine sogenannte G e a n t i k l i n a l e, in zwei Teile zerlegt werden, die sich zu dem medianen Geantiklinalgebiet komplementär verhalten, d. h. inbezug auf Hebungen und Senkungen, Trans- und Regressionen verhalten sich die median gelegene Geantiklinale und die sie begrenzenden Geosynklinalteile zeitweise ebenso gegensätzlich, wie Geosynklinalen und Extrageosynklinalgebiete. Letzten Endes aber, wenn es zum Erlöschen der Geosynklinale beim Eintreten der Gebirgsauffaltung kommt, wird auch die Geantiklinale in gleicher Weise in die Aufwärts- und Faltungsbewegung mit einbezogen. In den Alpen waren die zentralen Teile stets Antiklinalen, wenn auch meistens ebenso wie die Nord- und Südkalkalpen meerbedeckt. Diese zeigen aber ganz andere, nämlich viel kontinuierlichere Sedimentationsverhältnisse, jene aber weit mehr Transgressionen und Trockenlegungen während der Trias- und Jurazeit. Den Ausdruck Geantiklinale schuf Dana und verstand darunter die einfache Aufwölbung, gegenüber der Geosynklinale als einfacher Absenkung. Da wir aber den Geosynklinalen, wie oben gezeigt, besondere Eigentümlichkeiten zuschreiben, durch die sie sich von anderen marinen Senkungsfeldern ihrem Wesen nach unterscheiden, so ist, in diesem Lichte besehen, der Begriff Geantiklinale gleichfalls auf die innerhalb, nicht außerhalb der Geosynklinalen liegenden Aufwölbungen v o r dem Zeitpunkte der Gebirgsauffaltung zu beschränken.

Wie vorhin erwähnt wurde, hat es den Anschein, als ob die Geosynklinalbewegungen zuerst unbestimmter verliefen, ebenso wie auch die Gegensätzlichkeit und die Abgrenzung gegenüber den Extrageo-

synklinalgebieten unausgesprochener gewesen sei. Diese Vorstellung läßt sich vereinigen mit einer Folgerung, die Wegener aus seiner Theorie des Zusammenschubes der salischen Kruste durch die Gebirgsfaltungen zieht. Es fand nach ihm von altersher durch die vielfach wechselnde Gebirgsbildung eine fortschreitende Verdickung der salischen Kontinentalmassen auf Kosten ihrer horizontalen Ausdehnung statt. Das salische Urgestein ist fast überall steil gestellt, verfaltet, verworfen. Die Annahme sei daher berechtigt, daß seine ursprünglich die ganze Erdkugel umkleidende Masse durch die fortgesetzten Prozesse des Aufreißens und Zusammenschubes an Oberfläche und Zusammenhang verlor, aber dafür an Mächtigkeit gewann. Man könne also nebenstehende (Fig. 22) hypsometrische Kurve der Vorzeit und der Zukunft vergleichsweise entwerfen. Das mittlere Krustenniveau *m* wäre der Urzustand, als das Sal noch völlig das Sima überdeckte (vergl. Fig. 8 auf S. 44). Die durchgezogene Kurve ist die heutige Erdoberflächengestalt; die mit Punkt und Strich gezogene die der Vorzeit, und durch das anhaltende Zusammenstauen des Sal kommt schließlich die punktierte Kurve zustande. Während danach im Anfang eine etwa 3 km tiefe Panthalassa die ganze Erdoberfläche bedeckte, teilte sich das Meer mit Beginn der Spaltung des Sal in episimatisches und epikontinentales (Tiefsee und Flachsee), bis die Kontinente völlig sich zusammengeschoben haben werden. Dann wird Kontinentalrand und Meeresrand in eines zusammenfallen. *Hieraus erklärt sich, daß die Transgressionen der Vorzeit, insbesondere vor dem tertiären Zusammenschube, erheblich größere Ausdehnung gehabt haben, als die heutigen.* Denn die Kontinentalmassen waren als Ganzes flacher.



Figur 22.

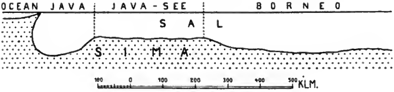
Dieser Argumentation liegt offenbar die Vorstellung zugrunde, daß die Transgressionen von den episimatischen, echt ozeanischen Meeresarealen ausgehen. Soweit eustatische Überflutungen in Betracht kommen, mag das ja gelten. Wenn es, was wir nicht wissen, solche gibt und zwar unabhängig von den Bewegungen der salischen Rinde und der Geosynklinalen, dann können es nur solche von astronomischer Bedingtheit sein, etwa in dem Sinne, daß die Erde ihre Rotationsgeschwindigkeit ändert (vgl. auf Seite 114 die Blytt'sche Theorie) und die Hydrosphäre raschere Anpassungsbewegungen an die Erfordernisse der neuen Ellipsoidform macht als die trägere Lithosphäre. Aber auch, wenn wir nur die nach unserer Auffassung *intrasalischen* Geosynklinalbewegungen als Verursacher der hauptsächlichsten vorübergehenden Trans- und Regressionen ansehen, erklärt uns die Wegener'sche Idee die ehemalige größere Ausdehnung der Transgressionen, weil auch die Kontinentalblöcke in sich weniger starr und beweglicher waren. Freilich sind solche Erwägungen zu-

Digitized by Google

nächst noch problematisch und können derzeit noch nicht zu widerspruchslosen Ergebnissen führen.

5. Die Ursachen der Geosynklinalbewegung und der Gebirgsbildung.

Hall, der, wie oben bemerkt, zum erstenmal auf das Zusammenfallen größter Sedimentmächtigkeit mit Faltengebirgsregionen aufmerksam machte, glaubte diese ununterbrochene Sedimentanhäufung durch entsprechende Absenkung des Meeresbodens erklären zu können und zwar sollte gerade das Gewicht der sich aufhäufenden Sedimente die synklinale Absenkung hervorrufen. Hall dachte sich den Vorgang also durchaus isostatisch. Dana dagegen glaubte eben diese Absenkung tangentialem Druck zuschreiben zu sollen, deutete die Entstehung der Geosynklinale daher ebenso wie das Gegenteil, nämlich die Auffaltung des Kettengebirges. Haug ist derselben Auffassung. Nach Wegener[1]) lägen die Regionen stärkster Sedimentablagerungen auf alten Innen- und Außenschelfen, deren Tiefe an und für sich nicht groß gewesen zu sein bräuchte, die sich aber isostatisch fast ebensoviel gesenkt hätten, als Sedimentbildung erfolgte. Heute liegen die tiefsten Schelfe 500 m unter dem Meeresspiegel, also 1200 m unter dem mittleren Landniveau. Die Krustendicke der Erde unter einem solchen etwa 1 km unter dem allgemeinen Kontinentalniveau liegenden Schelf würde dann statt 100 nur noch 70 km betragen, wie die beifolgende, aus Wegener entnommene Fig. 23 zeigt, welche in richtigen Verhältnissen ein Profil



Figur 23.

durch den Schelf der Java-See bietet. Die Schelfpartie ist am schwächsten und würde daher einem Zusammenschub den geringsten Widerstand entgegensetzen. Die aufgelagerten Sedimente blieben mehr im Niveau der niederen geothermischen Temperaturen, während die höheren Gradkurven in das Urgestein hinabgedrängt würden, wodurch letzteres plastischer würde; auch hierdurch seien die Schelfe für die Faltung prädestiniert. Ferner sei das Sima der ozeanischen Böden doch nur wenig plastischer als das Sal der Kontinentalmassen, so daß auch mitunter die Ozeanböden der Bewegung der Kontinentalschollen weniger Widerstand entgegensetzten und so zur Auffaltung eines etwaigen Randschelfes führen könnten. Wegener läßt also die Senkung, genau wie Hall, eine Funktion der isostatischen Verhältnisse sein, die Auffaltung aber eine Wirkung tangentialen Druckes.

Ich kann, den tangentialen Druck vorausgesetzt, mir nicht denken, inwiefern er gerade aus angefüllten oder wenigstens bis zu einer

1) Wegener, A., Die Entstehung der Kontinente. a. a. O. S. 193.

gewissen Höhe angefüllten Geosynklinalen unter allen Umständen Sedimentärmassen heraufpressen soll; die Vorstellung eines solchen Mechanismus erscheint mir gar nicht zwingend. Sieht man ferner die obige Figur an, dann würde ein tangentialer Druck doch höchstens eine lokale Materialvermehrung bewirken, nicht nur auflockern, welch letzteres doch geschehen müßte, um den bis zu einem gewissen Grade bestehenden Massendefekt in den Hochgebirgen zu erklären. Dasselbe gilt von der Vorstellung, die sich Haug von einer Geosynklinale macht.

Nimmt man tangentiale Kräfte zunächst für die Aufwärtsbewegung an, so ist weiter unverständlich, wo bei dieser Zusammenpressung der Platz bliebe für das Mitheraufkommen der krystallinen Zentralmassen, wie wir sie in den Alpen zwischen nördlichen und südlichen Kalkalpen in der Längserstreckung eingeschaltet sehen. Die Zusammendrückung könnte zufällig die jüngeren Sedimente teilweise einmal heraufpressen, aber für das Krystallin bliebe kein Raum, weil dieses auf alle Fälle ein Plus zu jener Gesteinsmenge bedeutet, die vorher die Synklinale ausfüllte.

Weiter steht der Annahme einer Hebung durch tangentialen Druck die Tatsache entgegen, daß wir während der Trias und im Lias in den Ostalpen zweifellose Absenkungen haben, dann im Dogger Hebung, vielleicht stellenweise auch im Lias, und dann im Malm wieder tiefe Senkung, ohne daß eine ausgesprochene Lagerungsdiskordanz oder gar eine Überlagerung des Malm über schwach gefaltete Jura-Triasschichten statthätte, was doch sein müßte, wenn jene jurassische Hebung und Senkung durch tangentiale Kräfte erzeugt und damit die Schichten durch seitlichen Druck gestört worden wären. Außerdem ist nicht einzusehen, warum tangentialer Druck nicht erst recht zur Senkung führen sollte. Tangentialer Druck ist im Sinne der Kontraktionstheorie, die Haug verficht, Gewölbdruck, und der müßte die Geosynklinalzone eher noch tiefer hinabpressen, als sie heben. Ja, man kann sagen, daß eine alpine Gebirgsbildung zu ihrer Entstehung viel eher eines Auseinandertretens der seitlichen Widerlager bedarf, als einer schraubstockartigen Zusammenpressung, durch welche den tiefsten Gesteinen gar nicht mehr der Zutritt nach oben gestattet würde. Man braucht daher zur Hebung eine Kraft, die ihren Sitz unterhalb der Geosynklinale oder mindestens in ihr hat.

Haben wir nun vorhin (S. 110) schon gesehen, daß ein allzu großes Vertrauen auf die Kontraktionstheorie nichtmehr rätlich ist und sehen wir hier weiter, daß die aus ihr abgeleiteten tangentialen Drucke nicht gut das Geosynklinalphänomen zu erklären vermögen, so sind eben auch die der Kontraktion und die den daraus angeblich resultierenden Tangentialdrucken zugeschriebenen Resultate — unsere Faltengebirge — nicht auf diesem Wege entstanden denkbar.

Will man weiter die allmähliche Absenkung einer Geosynklinale durch das Schwergewicht der eingebrachten Sedimente erklären, so bleibt unverständlich — wir haben die Frage schon einmal oben gestreift — wieso z. B. in den Ostalpen nach der Doggerhebung wieder eine so rasche Absenkung eintreten konnte, wie sie uns das Malmmeer zeigt. Denn diese Absenkung fand ja statt, ehe in irgendwie nennenswerter Weise Malmsedimente sich gebildet hatten, und im oberen Malm war die Geosynklinale so tief, wie wohl nie zuvor in Trias und Jura, obwohl gerade die Malmsedimente mit die wenigst mächtigen der ganzen Trias-Juraserie sind.

Digitized by Google

Zweitens muß man sich doch fragen: woher kommen neue vermehrte Sedimentmassen? Solche können nur erzeugt werden durch die im Gefolge starker Hebungen auftretenden verstärkten Erosionsvorgänge oder durch starke Senkungen, welche die Erosionsbasis, in unserem Falle also den Meeresspiegel, tieferlegen. Beide Male ist die Senkung bzw. die Hebung das Primäre, die Senkung in Geosynklinalgebieten muß also viel eher die Ursache zum Hereinströmen größerer Sedimentmassen sein, als umgekehrt das Hereinströmen des Sedimentmateriales die Ursache der Senkung.

Die Kontraktion der Erde und die aus ihr hervorgehende Einschrumpfung der Rinde würde zu ganz anderen Erscheinungen führen als zu Faltengebirgen von der Art, wie sie uns tatsächlich auf der Erdoberfläche entgegentreten. AMPFERER hat Untersuchungen angestellt[1]), welche Art von Faltenbildern aus den Unregelmäßigkeiten bei einer universellen Schrumpfung der Erdhaut hervorgehen müssen. In Vergleich gesetzt zu den reellen Faltungszonen der Erde, erwiesen sich diese „schon im Stil ihrer äußeren Anlage als Gebilde, welche von der allgemeinen Kontraktion unabhängig sind und eine bestimmte Selbstständigkeit besitzen". Die Unabhängigkeit der Bildungsursache vom Umland, wie von den eigenen Massen selbst führt ihn dazu, die Gebirgsbildende Kraft in den Tiefen und zwar in selbständigen Veränderungen des Untergrundes der Erdhaut zu suchen. „Diese Auffassung verlangt für das Innere der Erde eine einigermaßen unregelmäßige Massenverteilung, welche jedoch im Verhältnis nicht erheblicher zu sein braucht als die Reliefabweichungen der Erdoberfläche von der glatten Wölbung. Die Veränderungen des Untergrundes prägen sich nun der Erdhaut ... als tektonische ... Abbildungen aus" und „ganze Gruppen von Merkmalen und Beziehungen weisen gleichsinnig darauf hin, daß die Ursache aller dieser Gebilde in Äußerungen des Untergrundes der Erdhaut zu suchen ist".

Wir wissen ja längst, daß die Geburtsstunde unserer großen Kettengebirge, vornehmlich der genauer erforschten Alpen, nicht in einen einzigen kurzen geologischen Augenblick fällt, sondern daß wir mehrere Bewegungs-, Dislokations- und Faltungsperioden unterscheiden müssen. Haben wir doch allein in den nördlichen Ostalpen leichte liassische, außerordentlich starke cenomane und senone und dann erst die endgültigen tertiären Bildungsbewegungen und Faltungen, während die Westalpen einheitlich und wesentlich tertiär aufgerichtet wurden. Es ist daher nicht ein Bewegungsakt, wie AMPFERER mit Recht sagt, sondern eine lange Reihe von solchen, welche diese Streifen der Erdhaut, die wir Faltengebirge nennen, auszeichnen, und diese Bewegungen kommen vor allem dadurch zustande, daß „die Bewegungen des Gebirgsraumes im Laufe ungeheurer Zeiten stets mehr oder weniger von jenen der Umgebung verschieden waren".

Was uns an diesen, eingehend begründeten Auseinandersetzungen eines der besten Kenner der Alpen, der die Faltungsbilder im einzelnen lebendig vor Augen hat und nicht auf schematischen Darstellungen fußt, wie das der Geophysiker zurzeit noch tun muß — was uns an dessen Erörterungen am meisten interessiert, ist 1. die Ablehnung der hypothetischen Erdkontraktion als Kraftquelle für die Entstehung der

1) AMPFERER, O., Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. Jahrb. K. K. Geol. Reichsanst., Bd. 56, Wien 1906, S. 539—622.

Faltengebirge und 2. die Verlegung der gebirgsbildenden Kraft in die Tiefe unterhalb der Faltungsregion bzw. unter die „Erdhaut“. Es liegt in der Natur der Sache, daß eine augenscheinliche Beweisführung ausgeschlossen bleibt. Um so wichtiger ist es, daß auch andere durch einen vertieften Einblick in den alpinen Bau nunmehr besser als früher fundierte Gebirgsbildungstheorien gleichfalls den Sitz der auffaltenden Kraft nicht mehr in tangentialen Gewölbespannungen, hervorgegangen aus der Abkühlungskontraktion des „Erdinneren“, sondern in dem Untergrunde des Gebirgskörpers selbst suchen. Es müssen Druckkräfte sein, die, anfänglich wenigstens, vertikal von unten nach oben arbeiten.

Damit kehrt aber die Lehre von der Orogenesis, wenn auch nicht dem Wortlaut nach, so doch im Prinzip hinsichtlich der wesentlichen primären Bewegungsrichtung zu der „alten plutonischen Erhebungslehre“ von Buch, Humboldt, Beaumont zurück — eine altgewohnte Erscheinung im Spirallauf wissenschaftlichen Denkens und wissenschaftlicher Erfahrung. Freilich, daß es aufdrängende vulkanische Massen im gewöhnlichen Sinne seien, die unsere Faltungszonen emporgetrieben haben, wie das die Plutonisten annahmen, davon kann ja keine Rede sein, und man darf die von Gilbert u. a. gemachte Beobachtung kuppenförmiger Auftreibungen durch Lakkolithe oder die sogar mit Randüberschiebungen verknüpfte Riesentstehung[1]) nicht damit verwechseln. Aber daß es aus den in der Gebirgslinie selbst liegenden Tiefen empordrängende Kräfte ist, verursacht durch thermische und in deren Gefolge auftretende chemisch-physikalische Gesteinsumsetzungen, das ist eine Anschauung, die geeignet ist, die Kontraktionstheorie zu ersetzen.

Schon Dana hat den Gedanken entwickelt, daß infolge der Überdeckung älterer Sedimente durch jüngere Massen die geothermische Temperaturskala nach oben verschoben werden muß, bzw. daß bei Absenkung eines Meeresbodens die Ablagerungen in eine höhere geothermische Stufe hinabgesenkt werden. In jedem Falle würden sie dann einer molekularen Ausdehnung unterliegen. Durch Experimente mit Gesteinen hat Reade, der auf demselben Standpunkte steht, den Ausdehnungskoeffizienten berechnet[2]) und daraus den Betrag der Ausdehnung bestimmter Gesteinsmassen in der Natur bei Absenkung in eine bestimmte geothermische Tiefenstufe gewonnen. In den tieferen Lagen müssen sich, weil dort die Wärme höher ist, auch die Gesteine am meisten ausdehnen. Die ganze abgesenkte Sedimentserie zeigt daher unten die stärksten Druckerscheinungen, welche mit ihrer molekularen Gewalt die ganze Last nach oben drängen, so daß die höheren Lagen Streckungen erfahren. Der Druck nach aufwärts ist umso stärker, als im Inneren unten die Schichten nicht nach den Seiten ausweichen können und sich daher mit gesteigertem Druck nur aufwärts bewegen, bis sie Gelegenheit finden, auch seitwärts auszuquellen. Natürlich werden die schwächsten Stellen sich am nach-

1) Branca, W. und Fraas, E., Das vulkanische Ries bei Nördlingen in seiner Bedeutung für die Fragen der allgemeinen Geologie. Abh. Königl. Preuß. Akad. Wiss., Berlin 1901, S. 155—162.

2) Reade, M., The origin of Mountain Ranges considered experimentally, structurally, dynamically and in relation to their geological history. London 1886. (Nach Referat von Penck im Neuen Jahrb. f. Mineral. usw., Stuttgart 1890, Bd. I, S. 46—49.)

giebigsten zeigen, und dort wird die ganze Hebung in Faltengebirgsbildung endigen.

Diese thermische Expansionstheorie hat in neuester Zeit eine Erweiterung erfahren. Die in jedem Faltengebirge von alpinem Typus vorhandenen zentralen krystallinen Massen, welche von den Plutonisten als die aufgedrungenen vulkanischen Gesteine angesehen worden waren, denen das Gebirge seine Entstehung verdankt, treten nun wieder als Sitz bzw. Quelle der gebirgsbildenden Kraft in den Mittelpunkt des Interesses. Gewiß gibt es Faltengebirge, wie den Schweizer Jura, oder die saxonischen Faltungen, oder die Kreidefalten westlich von Kairo, die keinen krystallinen Kern besitzen; aber diese gehören auch nicht unter den Begriff der Gebirgsfaltungen von alpinem Typus, weil sie entweder nur sekundär durch tangentialen Druck verbogene Sedimenttafeln sind, die entweder nach Art des Schweizer Jura ihre Bewegung von den andrängenden benachbarten alpinen Faltenwellen erhielten, oder auf Spannungsdruck zweier Schollen zurückzuführen sind, die keinesfalls unmittelbar identisch mit den Entstehungsursachen und dem Mechanismus alpiner Gebirgsfaltung sind. Es handelt sich hier zunächst nur um die letzteren, die echt alpinen, und um die Rolle, die der krystalline Kern dabei spielt.

Wenn man die Struktur mancher Gneise betrachtet, sagt Termier[1]), so zeigt sich, daß sie Einschlüsse fremdartigen Gesteines enthalten, Bruchstücke von Felsarten anderer Komposition, die gewissermaßen in der Gneismasse schwimmen. Sie haben eine ovoide, flache, linsenförmige Gestalt oder sind zu gebogenen Schlieren ausgezogen und um sie herum findet sich ein feines mineralisches Band. Ist der Gneis gefaltet oder gefältelt, so folgen sie diesen Biegungen. Für eine solche Erscheinung ist nach Termier die plausibelste Erklärung eine an Ort und Stelle in einem zähflüssigen Milieu vor sich gegangene basische Ausscheidung. Müssen wir danach annehmen, daß gewisse Gneise vor Vollendung ihrer krystallinen Metamorphose durch einen zähen bis flüssigen Zustand hindurchgegangen sind, so gewinnt das Zusammentreffen der vollendetsten Metamorphosierungserscheinung mit früheren Geosynklinalregionen insofern eine Bedeutung, als in diesen die Sedimente bzw. Gesteinsmassen jeweils schon unmittelbar nach ihrer Entstehung oder späterhin in große Tiefen abgesenkt worden sind, zumal wenn jüngere Gesteine darüber gelagert wurden. Damit rückten sie in eine hochtemperierte geothermische Tiefenstufe — der über große Strecken ausgedehnte und vollendete, d. h. bis zur Gneisbildung vorgeschrittene Metamorphismus mit seinen oben geschilderten Eigenschaften fordert große Erwärmung, also Verlagerung in große Tiefen, wo er vor sich gehen konnte.

Jedoch genügt die Einsenkung der zu metamorphosierenden Gesteine in einer Geosynklinale und die damit verbundene geothermische Erwärmung allein noch nicht. Denn wir haben viele Geosynklinalregionen, welche sehr tief waren, deren Gesteine aber keine Spur von Metamorphose zeigen, auch die älteren nicht. Es muß als wesentlicher Faktor noch etwas hinzukommen und das sind juvenile Dämpfe, beladen mit Silikaten und alkalischen Boraten. Diese Dämpfe bzw. Mineralbildner bewirken, wenn sie die in der Tiefe einer Geosynklinale

1) Termier, P., Sur la genèse des terrains cristallophylliens. Compt. rend. XI. Congr. géol. intern. 1910, Fasc. II. Stockholm 1912, S. 587—595.

liegenden Gesteinsmassen durchdringen, unter gewaltigen Temperaturerhöhungen intensive chemische Umsetzungen durch Austreiben vorhandener Elemente und deren Ersetzung durch neue Stoffe. So entstehen zunächst im Areal der mehr oder minder breiten und verteilten Dampfsäule in dem bis dahin noch harten, wenn auch erwärmten und unter starkem Belastungsdruck stehenden Gesteinskomplexe stark erhitzte, erweichte Massen magmatischer Natur, nach unten an Breite zunehmend, und so ruht das ganze Gebäude gewissermaßen auf einem gigantischen Batholithen. Hat einmal das Zuströmen der Dämpfe sein Ende gefunden, dann geht bei der allmählichen Wiederabkühlung und -erhärtung eine vollständige Verkrystallisierung des Gesteins vor sich, während andere, noch nicht so vollständig durchsetzte Gesteinskomplexe je nachdem unterdessen mehr oder minder metamorphosiert werden. Ist der ganze in Betracht kommende Komplex erst einmal wieder konsolidiert und erkaltet, so behält er seine Heterogeneität natürlich bei und so treten uns die krystallinen Gesteinsserien in der Natur auch entgegen.

In den völlig erweichten und noch bis zuletzt am meisten erhitzt gebliebenen unteren Massen ist die chemische und physikalische Konsolidierung noch nicht so bald eingetreten, wie in den höhergelegenen oder weniger infizierten Massen. Jene bleiben noch erhitzt, machen den Umwandlungsprozeß vollkommener durch und werden zuweilen bei den eine Volumenvermehrung und darum außerordentlichen Druck erzeugenden gewaltigen Umkrystallisierungen herausgepreßt. So erscheinen sie, scharf abgesetzt, als magmatische Massen mitten in anderen mehr oder minder krystallinen Gesteinen. Das Auftreten vulkanischer-magmatischer Massen ist nur eine Episode in dem allgemeinen Metamorphismus.

So ungefähr der Gedankengang Termiers. Seine Konsequenz ist, daß danach die Fältelung der krystallinen Massen ein interner, nicht ein der gewöhnlich angenommenen tangentialen Faltung zu verdankender Vorgang ist, aus den primären chemischen Umsetzungen und der hieraus resultierenden sekundären Volumenvermehrung entspringend, eine Idee, die vielleicht eine Parallele hat in der Lachmann'schen Theorie der autoplasten Faltung von Salzlagern[1]), denen ebenfalls diagenetische und epigenetische Prozesse zugrundeliegen. Auch in der oberbayerischen Molassekohle ist oft eine äußerst feine strichförmige Wechsellagerung von Kohle und Mergelton fein verfältelt zu sehen, wohl auch autoplaste Verbiegungen, da sie in keinem ersichtlichen Zusammenhange mit der tektonischen Faltung der Gesteinsbänke stehen.

Unterdessen, seit der ersten Niederschrift des Obigen, hat Lachmann die soeben angeführte Konsequenz auf die krystallinen Zentralmassen auch aus seiner früheren Theorie gezogen[2]). Er legt diesen autoplasten Umwandlungen die ursächliche Bedeutung für die Entstehung

1) Lachmann, R., Über autoplaste (nicht tektonische) Formelemente im Bau der Salzlagerstätten Norddeutschlands. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 62, Berlin 1910, Monatsber., S. 113—116.

— Der Salzauftrieb. Geophysikalische Studien über den Bau der Salzmassen Norddeutschlands. „Kali", 4. Jahrg., Halle 1911, H. 8, 9, 22, 23, 24.

2) Lachmann, R., Über den Bau alpiner Gebirge. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 65, Berlin 1913, Monatsber., S. 157—173.

— Der Bau alpiner Gebirge. Die Naturwissenschaften, Jahrg. 1913, Berlin, S. 288—291.

der Alpen bei. Im krystallinen Zentralgestein sehen wir eine außerordentlich intensive Verfältelung, von der man unter dem Einflusse der Kontraktionstheorie angenommen hat, sie sei durch die tangentialen Seitenschübe analog den großen Falten der Kalkalpen entstanden. LACHMANN fragt sich, ob diese außerordentliche „Durchbewegtheit" der krystallinen Massen nicht in den internen krystallokinetischen Umlagerungen zu suchen ist. Er verweist auf die krystallokinetischen Raumausfüllungen eines eingeengten Gletschers, dessen Eisschichten sich in so enge Schlingen legen, „daß die wirkliche seitliche Kompression in gar keinem Verhältnis zu der erzielten scheinbaren linearen Verkürzung steht. Ein geschichteter Salzkörper, welcher unter Lösungsumsatz in einem Salzstock auftreibt, zeigt weit ausholende Falten auch dort, wo das unlösliche Nebengestein keinerlei räumliche Horizontalbewegungen erkennen läßt". Die Struktur der Zentralalpen ist aufzufassen als ein extremer Spezialfall jener Raumausfüllung, „die allen krystallokinetisch gewordenen, d. h. in Relativbewegung unter Lösungsumsatz begriffenen Mineralmassen eigen ist." Bei solchen krystallokinetischen Bewegungen findet eine Durchmischung der Gesteinsglieder statt, „daß vollständig neue Gesteine entstehen, sogenannte Tektonite, wie SANDER sie nennt, deren Komponenten in einem und demselben Handstück ursprünglich kilometerweit auseinander gelegenen Schichten entstammen können." Danach sind die Schistes lustrés, wenigstens die der Ostalpen, die Schiefer der Graubündener Aufbruchzone, die Schieferhülle der Tauern, die Glanzschiefer des Wallis nichts anderes als solche vergrößerte Tektonite, und danach kann man die Struktur der Zentralalpen ansehen als bedingt durch den besonderen physikalischen Zustand der an ihrem Aufbau beteiligten Gesteinsmassen. Im einzelnen können wir diese krystallokinetischen Erscheinungen etwa wahrnehmen in den bekannten Kalk- und Gneisverkeilungen des Berner Oberlandes, des Simplon- oder des Tribulaungebietes, an denen man durch die Art der Lagerung deutlich nachweisen kann, daß regionaler Faltungsdruck ausgeschlossen ist.

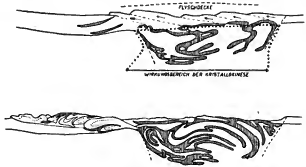
Angeregt wird dieser krystallokinetische Prozeß (nach LACHMANN) durch Störungen des isostatischen Gleichgewichtes im Untergrunde. Indem sich die in innere Diffusionsbewegung geratende Zone mit der darüber liegenden, indifferent bleibenden verzahnt und verfaltet, muß sich die darüber ruhende sedimentäre Hülle in Falten legen. Der Vorgang kann sich innerhalb des krystallinen Kernes selbst abspielen oder, wie bei den Alpen, hinaufreichen und übergreifen in die Zone der Sedimentdecke. Danach würde die Entstehung der Schweizer Alpen durch beifolgende Schemata (Fig. 24) LACHMANNS veranschaulicht werden[1]). Daß dann sekundär vielleicht auch Abgleitungen im Sinne der REYER'schen Theorie sich einstellen, ist für das Wesen der Sache von nebensächlicher Bedeutung.

ANDRÉE ist jüngst gegen die thermische Expansionstheorie aufgetreten[2]). Die zur Expansion der Gesteinsmassen erforderliche Temperaturerhöhung ist nach ihm auf zweierlei Weise erreichbar. Zunächst

1) Der Anfangszustand, bei dem der krystalline Kern noch nicht in die Sedimentzone hinaufgegriffen hat, ist in der Abbildung weggelassen.

2) ANDRÉE, K., Über die Bedingungen der Gebirgsbildung, Berlin 1914, S. 16ff.

durch aufdringende glutflüssige Magmamassen, deren Kontaktmetamorphosierende Wirkung aber nicht weit genug reiche, um zur Erklärung der Kettengebirgsbildung durch thermische Ausdehnung der Gesteine zu genügen. Die andere Art der Wärmeerzeugung ist nach Andrée jene vorhin auf S. 141 geschilderte, die in den geosynklinal abgesenkten Schichtgesteinen durch ihr Hinabrücken in eine höhere geothermische Stufe erzeugt wird, welcher Vorgang auch nach seiner Meinung zur Herausbildung krystallin umgewandelter Gesteinsmassen führt. Auch von diesem Prozesse leugnet er eine faltengebirgsbildende Endwirkung. Ferner verbiete die geringe Druckfestigkeit der Gesteine zunächst auch hier die Annahme einer Weiterleitung der Spannung, welche durch Ausdehnung einer größeren Gesteinsmasse entstehe, nach einer schwächeren Stelle, an der dann die Auffaltung erfolgen würde. Wenn tatsächlich trotz der krystallinen Umwandlungen eine thermische Ausdehnung noch stattfände, könnte sie nur in einer allgemeinen, nach oben gerichteten Ausdehnung der gesamten Sedimentmassen und in ihrer ganzen Breite gefunden werden; das aber würde zugleich ein weiteres Sinken des Bodens des betreffenden Geosynklinalmeeres verlangsamen.



Figur 24.

Ich glaube, daß da eine etwa mit jener Lachmanns verbundene thermische Theorie doch den richtigen Ausweg bietet, wenn man nämlich den thermischen Ausdehnungs- und Umwandlungsvorgang nicht zu starr auf einen enghegrenzten Zeitpunkt festlegt. Schon während der allmählichen Absenkung der Geosynklinale, also, um gleich den konkreten Fall ins Auge zu fassen, im alpinen Gebiet schon etwa während der Trias- und Jurazeit, hat dieser metamorphosierende Prozeß eingesetzt und tatsächlich in der mittleren Kreidezeit im ostalpinen Gebiet zu der cenomanen Gebirgsbewegung geführt; auch im Dogger war schon eine solche Aufwärtsbewegung des alpinen Bodens, vielleicht auch schon im Lias da. Außerdem verhalten sich die verschiedenen Regionen verschieden, die Bewegungen waren sowohl in ostwestlicher, wie nordsüdlicher Richtung ungleichmäßig. Die soeben erwähnten Schwankungen und Vorläufer der tertiären Hauptgebirgsbildung beziehen sich auf das Gebiet der nördlichen Kalkalpen. Wo deren Masse vor dem Tertiär lag, wissen wir nicht; sicher nicht an der heutigen Stelle. Wenn man auch nicht der extremen Decken-

theorie huldigt, kann man die vielfach wesentlichen Faziesunterschiede ganzer Serien und das Fehlen einzelner Glieder in benachbarten Serien nicht anders erklären, als durch Ablagerung unter verschiedenen Verhältnissen, also in getrennten Becken. Anders als die Bewegungen etwa in den nördlichen Ostalpen stellen sich die Bewegungen in den Zentralalpen dar, wo z. B. Jura über aufgearbeiteter Trias in der Brennergegend transgrediert[1]). Hier bestand schon ein zentraler Urgebirgskern, ein deutlicher Beweis, daß auch hier schon zu mesozoischer Zeit Bodenbewegungen aus der Unterlage des alpinen Gebietes herauf stattfanden. Es ist überhaupt ein Resultat der Alpenforschung, daß die gebirgsbildende Bewegung ein ununterbrochener Prozeß ist bzw. gewesen ist und nichts wäre verkehrter, als hier ein Schema auf alle Regionen anzuwenden. Auch haben nicht alle Faltengebirge einen sichtbaren krystallinen Kern und nicht überall, wo er vorhanden ist, liegt er, wie in den Alpen, median in der Streichrichtung des Gebirges. Auch das zeigt uns die Ungleichartigkeit des Verhaltens der aus der Tiefe heraus sich betätigenden gebirgsbildenden Kräfte. Man weiß ja, daß die Absenkung einer Geosynklinale lokal verschieden und ungleichmäßig vor sich geht und daß darum auch die Metamorphosierung im Sinne von Termier oder Lachmann ganz ungleichartig sich entwickeln muß. Sie führt deshalb zu Teilbewegungen, welche örtliche Hebungen in geringerem Ausmaße verursachen, andernteils aber auch kompensiert werden durch innere Zusammendrückung benachbarter und noch nicht metamorphosierter Massen. Bis sich diese lokalen inneren Volumenvermehrungen auf die genannte Weise kompensieren, kann auch eine längere Spanne Zeit verstreichen und unterdessen haben sie örtlich hebend gewirkt. Diese Hebung geht zurück, wenn dann die innere Kompensation eintritt — es kommt dann das erneute Einsinken der Geosynklinale zustande, wie wir es ja nach dem Cenoman in den Ostalpen tatsächlich noch einmal sehen. Aber nicht mehr zur früheren Tiefe. Außerdem brauchte ja zuerst nicht an allen Stellen im tiefsten Inneren der Geosynklinalregion die Metamorphosierung gleichmäßig und gleichzeitig einzusetzen, weil sie zum Teil abhängig ist von der Zufuhr juveniler Gase, die doch gewiß nicht überall in gleicher Menge und im gleichen Augenblicke zur Verfügung stehen. Man kann sich nun denken, daß nach dem Cenoman eine gewisse Ruhe in der thermischen Metamorphosierung des intraalpinen Körpers eintrat und die Einsenkung der Geosynklinale sich wieder behauptete, zumal sie ja in den Westalpen ohnehin nicht unterbrochen worden war. Gegen das Mitteltertiär bin machte sie sich neuerdings geltend und diesmal so stark im ost- und im westalpinen Gebiet, daß die endgültige Heraushebung der Alpenketten in beiden Regionen erfolgte.

In den Westalpen sind viele mesozoische und tertiäre Sedimente auch metamorphosiert, ebenso wie teilweise in den zentralen Ostalpen, und das stimmt vorzüglich mit einer thermischen Theorie oder mit der Lachmanns überein, insofern, als die ununterbrochene Absenkung des westalpinen Geosynklinalteiles auch mehr randlich gelegene jüngere Auflagerungen von Sedimenten noch in die Metamorphosierungszone

1) Hartmann, E., Der Schuppenbau der Tarntaler Berge am Westende der hohen Tauern. I. Teil. (Stratigraphie u. Petrographie.) Jahrb. K. K. Geol. Reichsanst., Bd. 63, Wien 1913, S. 259ff.

rücken mußte, was im ostalpinen Gebiete außerhalb der zentralen Zone wegen der zu frühen Unterbrechung der Abwärtsbewegung verhindert wurde. In der Zone, wo sich die metamorphosierten mesozoischen Tauernsedimente absetzten, mögen dann die Verhältnisse so wie in den Westalpen gelegen haben. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß auch die Geosynklinale stets in ihren verschiedenen Teilen verschieden tief war und zwar sowohl in der Längs- wie in der Quererstreckung. Wo sich der liassische Ammonitico rosso ablagerte, war eine andere Tiefe wie dort, wo die grauen Kalke sich bildeten; wo die bathyalen Tiefensedimente der Aptychenschichten des Oberjura entstanden, eine andere, wie dort, wo sich die korallinen Malmkalke der Ostschweiz oder des Salzburgischen absetzten. Darum muß auch der innere Metamorphosierungsprozeß und die thermische Wirkung und endlich auch die spätere Hebung unstetig und ungleichmäßig verlaufen sein, wie das tatsächlich der Fall ist, was eine Erklärung für tektonische Wirrnisse liefern kann, die nebenbei bemerkt, nicht klar werden, wenn man die alpinen bzw. geosynklinalen Bewegungsvorgänge sich allzu einheitlich verlaufen denkt.

Ich komme daher gerade zu dem entgegengesetzten Resultat, wie ANDRÉE, wenn er schreibt: „Noch ein letzter Grund ist vernichtend für die in Frage stehende Gebirgsbildungstheorie: Stets sind die Schichten eines Faltengebirges wesentlich gleichzeitig gefaltet worden. Zwar deuten die neueren Forschungen darauf hin, daß sich für jede Faltungsperiode wohl einzelne von Ruhepausen unterbrochene Phasen der Gebirgserhebung unterscheiden lassen, aber was man, wenn die thermische Theorie zu Recht bestünde, fordern müßte, nämlich eine ganz allmähliche Abnahme der Faltungsintensität von den ältesten tiefstgelegenen Schichten der ehemaligen Geosynklinale bis zu den jüngsten Sedimenten, ist nirgends verwirklicht."

Die tatsächlichen Verhältnisse in den Alpen sprechen, wie mir scheinen will, doch sehr für eine vielleicht im Sinne TERMIERS oder LACHMANNS modifizierte thermische Metamorphosierungs- und Expansionstheorie. Auch der etwas einseitige Bau der Alpen läßt sich z. B. mit der LACHMANN'schen Theorie vereinigen, wenn man entweder an ein einseitiges Ausweichen der Druckkräfte denkt oder an eine verschieden starke Intensität des Auftriebes. Außerdem beweisen die Abbrüche gegen den Südrand, daß von vornherein im Norden und im Süden längs der Alpen ganz andere intrakrustale Zustände geherrscht haben müssen. Südlich lag ja eine Fortsetzung geosynklinalen Gebietes, nordwärts lagen alte Festlandshorste. Man darf also die Vorgänge und Kräfteentwicklungen im Inneren einer Geosynklinale, bzw. unter ihr, nicht einheitlich und schematisch verlaufend sich vorstellen — Vorstellungen und hypothetische Versuche bleiben diese Dinge ohnehin zunächst noch, und alles ist Diskussion von Möglichkeiten, nicht Resultat.

Sehr wichtig scheint mir auch ein drittes Argument, das ANDRÉE gegen eine Gebirgsbildung durch thermische Ausdehnung ins Feld führt; es gibt uns zugleich Gelegenheit, das Wesen alpiner Geosynklinalen noch schärfer zu charakterisieren. Er sagt: daß thermische Ausdehnung in die Tiefe verlagerter Sedimente nicht ausreichen könne zur Erklärung von Gebirgsfaltungen, zeige sich an sehr mächtigen, besonders festländischen Ablagerungen, die vollkommen horizontal geblieben seien, z. B. die mehrere tausend Meter mächtigen Old-red-

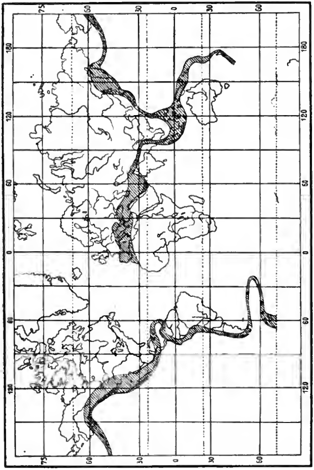
Sandsteine; zumal am Boden der Meere tiefe Temperaturen herrschten und gerade auf den Kontinenten die Geoisothermen höher lägen.

Wir haben auch in ungefalteten Gegenden Marinserien, die sehr große Mächtigkeit aufweisen; man braucht nur an die Trias-Juraformation unserer süddeutschen Gegenden zu denken. Außerdem, wenn wir es recht überlegen, ist jede Gesteinsserie unendlich tief, denn unter jeder Formation liegt bis ins plastische Sima hinunter Gesteinsmaterial, das trotzdem nicht heraufgefaltet wurde und wird. Das alles beweist aber doch gerade, daß es eben ganz bestimmte Gebiete oder Streifen der Erdkruste sind, bei denen Absenkungen und Tieferlegung von Sedimenten späterhin gebirgsbildende Wirkung zeigten und daß nur in ihnen die Bedingungen erfüllt sind, unter denen eine Metamorphosierung von Sedimenten und damit ein Auftrieb zu Kettengebirgen stattfinden kann. Daß außerhalb dieser Gebiete eine noch so mächtige Sedimentanhäufung nicht zur gleichen Wirkung führt, beweist nichts gegen eine thermisch-metamorphosierende Ursache der Kettengebirgsbildung, wohl aber tritt dadurch der besondere eigentümliche Charakter der Geosynklinalgebiete in ein umso helleres Licht. Der übereinstimmende Verlauf der Geosynklinalzonen mit den Gebirgsbögen wird durch einen Vergleich der hier beigegebenen, die jungen Kettengebirgszonen veranschaulichenden Karte (Fig. 25) mit der auf S. 130 gegebenen Skizze der Geosynklinalen des Mesozoikums ersichtlich. Die uralische Zone scheidet als einem älteren System angehörend hierbei aus; über die indomadagassische wurde S. 129 Näheres schon gesagt.

Bekanntlich ist unter den Faltengebirgen, die aus Geosynklinalen auftauchten, ein Massendefekt vorhanden. FISHER nahm an[1]), daß diese Teile der Erdrinde viel tiefer in das Magma eingetaucht seien als die übrigen Kontinentalteile, die er sich auf dem Magma schwimmend dachte. Wir könnten zwar nach unseren oben dargelegten Anschauungen das Gleiche annehmen und uns denken, daß das salische Material unterhalb von Geosynklinalgebieten tiefer eintaucht als unter den nichtgeosynklinalen Kontinentalarealen. Näher aber liegt es anzunehmen, daß unter den Geosynklinalgebieten sonstige besondere magmatische Zustände obwalten, eben jene, welche an der Oberfläche den Gegensatz dieser Gebiete zu anderen sichtbar werden lassen, über deren Natur sich aber allerdings zur Zeit noch nichts aussagen läßt. Man kann aber im Zusammenhange mit Obigem annehmen, daß nach Beendigung des thermischen gebirgsbildenden Prozesses eine Abkühlung der emporbewegten Massen innerlich erfolgt und damit eine Volumenverringerung. Diese, wie die vorangegangene Expansion erklärt den Massendefekt unter den Zentralalpen, d. h. sie stellt sich eben unmittelbar als Massendefekt dar. Dann kann allmählich ein tangentialer Druck auf diese schwache, weniger Widerstand leistende Stelle der Erdkruste bzw. auf die Unterlage des Gebirgskörpers wirksam werden, teils als Gegenbewegung gegen den durch die vorhergehende Expansion auch seitlich ausgeübten Druck, teils hervorgerufen durch den unterhalb der gehobenen Massen liegenden Dichtedefekt, der ein Nachdrängen der dichteren Massen von der Seite, also tangential, veranlassen kann. Es wird die ganze salische Scholle, welcher dieser Gebirgskörper angehört, wieder verkürzt, und allmählich

1) FISHER, O., Physics of the earth's crust. 2. Edit., London 1889, Kap. XII.

verschwindet dabei auch wieder der Massendefekt. So würde es sich erklären, warum uralte, abgetragene Faltungskerne heute kein Massendefizit mehr zeigen, das doch einem jungen Hochgebirge anhaftet, also mit der Zeit entweder durch Beiströmen innerer magmatischer Massen von bestimmter spezifischer Schwere oder durch Kompression der vorher



Figur 25.

auseinander getriebenen und verfalteten Gesteinsmassen ausgeglichen worden sein muß. Man hat solche Ausgleiche bzw. Veränderungen auch schon direkt beobachtet. So teilt Fisher mit, daß Schweremessungen am Südrande des Himalaya im indischen Bezirk Dehra Dun am Anfange dieses Jahrhunderts ganz andere Resultate ergaben, als 30 Jahre früher, was nicht etwa durch Messungsfehler,

sondern durch Veränderungen des Untergrundes im Himalayavorlande zu erklären sei[1]).

Es soll nicht behauptet werden, daß mit den vorstehenden Ausführungen und den mehr andeutungsweise gemachten Kombinationen verschiedener Theorien eine schlüssige Gebirgsbildungstheorie aufgestellt werden wollte. Nur die ganze Richtung, in der sich eine Lösung der Ursachenfrage meines Erachtens anstreben läßt, sollte damit angedeutet werden. Jedenfalls zeigt das Vorstehende, daß man die verschiedenen besprochenen Einzeltheorien in Zusammenhang mit den Geosynklinalbewegungen bringen kann.

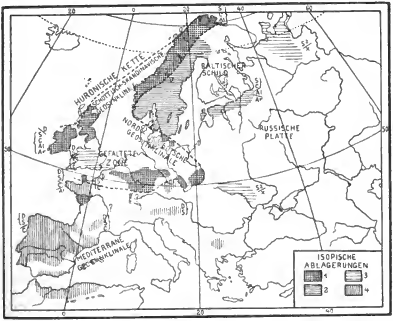
Das Gegenteil der Auffaltung, nämlich die Absenkung von Geosynklinalfeldern, wäre dann eigens zu erklären. Da muß man aber zweierlei unterscheiden: Geosynklinalabsenkungen, die sich in zuvor ungefalteten Regionen zum erstenmal bilden und Geosynklinalabsenkungen im Gebiet eines Faltengebirges, wie wir es in den Ostalpen in nachkarbonischer oder im Ural in nachjurassischer Zeit finden. Das letztere ist am leichtesten erklärbar, wenn man sich die vorhergegangene Auffaltung durch Metamorphosierungsdruck entstanden denkt. Dann muß nach Abkühlung und Erstarrung der Massen — auch eine Art Kontraktionstheorie — ein so großer Dichtedefekt unter dem Gebirge herrschen, daß das natürliche Schwergewicht wieder eine Senkung einleitet, und das wäre eine weitere Erklärung zu der S. 121 erörterten Frage, warum trotz aller Abtragung von oben her die alten Faltengebirge nicht mehr isostatisch auf ihre frühere Höhe zurücksteigen. Das macht es auch wahrscheinlich, daß alpine Gebirgsbildungen und damit auch die vorherigen geosynklinalen Einsenkungen innerhalb der salischen Rinde sich vollziehen, nicht aber in einem Wechsel zwischen simatischem Ozeanboden und salischem Kontinentalgebiet bestehen; die krystallinen Massen sind nicht Vertreter der simatischen Zone, sondern metamorphosiertes Sal (vgl. S. 95). Die primäre Geosynklinalbildung dagegen müßte auf Umsetzungen der subkrustalen Zone oder mindestens auf solche im eingetauchten salischen Teile zurückzuführen sein. Aber über alles das wissen wir noch nichts, und was wir zunächst tun können, beschränkt sich auf die Herausarbeitung der Wahrscheinlichkeit, daß vertikal, nicht tangential wirkende Kräfte den Grund für alle die Geosynklinalbewegungen in früheren oder zukünftigen Faltengebirgsgebieten alpiner Art bilden.

Ganz ähnlichen Anschauungen begegnen wir, was der Vollständigkeit halber schließlich noch erwähnt sei, auch bei Reade, der oben schon zitiert wurde. Er führt das Aufquellen der Gebirge auf die bei entsprechender Sedimentmächtigkeit eintretende Erwärmung und Ausdehnung zurück, das nur nach oben erfolgen kann wegen des absoluten Ausdehnungshindernisses nach den Seiten. Auch die krystallinen Massen werden als unter Hitze umgewandelte Gesteine erklärt und die vulkanischen Intrusionen im Prinzip so aufgefaßt, wie wir es vorhin als Ansicht Termiers geschildert haben. Das Aufquellen der Gebirgsbildungsregionen soll von einem Zusammenbrechen der umliegenden, schon abgetragenen Teile begleitet sein. Auch ihm sind die Geosynklinalen, die als primäre Senkungsgebiete eine Anhäufung von Sedi-

1) Fisher, O., A suggested cause of changes of level in the earth's crust. Americ. Journ. Sci., Vol. CLXXI, New-Haven 1906, S. 220.

menten nach sich ziehen, die Vorbedingungen zu Gebirgsbildungen, deren besonderer Charakter mit besonderen Verhältnissen im Erdinneren im Zusammenhang stehen soll.

Ich glaube, es läßt sich an folgendem Beispiel paläozoischer Faltengebirgsbildung sehr gut die Wahrscheinlichkeit demonstrieren, daß gerade tangentialer Druck als primärer gebirgsbildender Faktor zur Erklärung der Gebirgsentstehung nicht genügt. Bei der kaledoni-Gebirgsbildung im Norden Europas am Ende der Silur- bzw. Anfang der Devonzeit schoben sich die Falten in Schottland auf eine bis jetzt nachgewiesene Länge von 200 km in nordwestlicher Richtung über die Reste der alten huronischen Gebirgsmasse aus algonkischer Zeit hinüber[1]), während in Skandinavien die kaledonischen Falten südost-



Figur 26.

wärts über das kurz zuvor abgelagerte Silur und über älteres Gebirge in der ganzen Länge der skandinavischen Halbinsel hinüberglitten[2]). Es ist also ganz zweifellos ein zweiseitig wirkender Überschiebungs- bzw. Überfaltungsdruck vorhanden gewesen. Haug sucht nun dieses Phänomen aus tangentialem Gebirgsbildungsdruck abzuleiten. Das kaledonische Gebirge ist nach ihm hervorgegangen aus der großen skandi-

1) Peach, B. N. and Horne, J. etc., The geological structure of the North-west Highlands of Scotland. Mem. geol. Surv. Great Britain. London 1907. (Mit Karte der Überschiebung.)

2) Törnebohm, A. E., Grunddragen of det centrala Skandinaviens berg-byggnad. K. Svensk. Vetensk. Akad. Handl. Stockholm 1896, Bd. 28. (Deutsches Résumé.)

navisch-schottischen „Geosynclinal des Grampians", an die sich südwärts die mitteleuropäische Geosynklinale anschließt, wie auf der beifolgenden aus Haug entnommenen, aber vereinfachten Kartenskizze (Fig. 26) zu sehen ist. Er sagt[1]): Faltungen können in einer Geosynklinalregion entstehen infolge bilateraler Zusammenpressung, der eine solche Zone ausgiebigster Sedimentation nach ihrer Auffüllung unterliegt, gerade als würde sie zwischen den Backen eines Schraubstockes gepackt. Diese Bedingung ist realisiert für den skandinavischen Teil der grampianischen Geosynklinale, wo ein präkambrisches Faltungsgebiet in Schweden und Finnland das Vorland für die postsilurischen Faltungen abgab. Die Falten haben sich gegen den Rand der Geosynklinale übergelegt, indem die früheren Faltenmassen, ganz anders orientiert, sich dem Vordringen der jüngeren Wellen entgegenstellten. Indem sie auf jenes Hindernis auftrafen, sind die tangential gerichteten Kräfte darüber gedrungen und die vorwärtsgeschobenen Massen haben den Rand der präkambrischen Faltungszone überschritten. In Schottland existierte südwärts nicht das gleiche Hindernis, die Geosynklinale hatte dort eine größere Breite, sie dehnte sich bis zu den zentralen Grafschaften aus, wo sich die Faltung schon von der mittleren Silurzeit herdatierte. Diese vordevonischen Faltungen sind nichts anderes als Geantiklinalen, welche den Boden der zentral- und südeuropäischen Geosynklinale betrafen. Das Silurmeer reichte von Schottland bis zur Sahara, so daß die Synklinale auf diesem Meridian eine ungeheure Breite besaß. Indem sie zu Beginn des Devon einer Zusammenpressung unterworfen wurde, mußten die neuen Falten an den Rändern entstehen mit einer Überquellung nach Norden am Nordrande und nach Süden am Südrande. Im Norden trafen die Schübe auf kein anderes Hindernis, als auf die alte huronische Kette, und deshalb wurde diese von den kaledonischen Schubmassen überschoben. Die altdevonischen Faltungen blieben aber in Europa keineswegs lokalisiert auf die nordischen Geosynklinalregionen von Schottland und Skandinavien, sondern dehnten sich im Süden bis Devonshire, die Ardennen, den Taunus, Thüringen und Mähren aus, ohne jedoch das bretonische Massiv und Böhmen zu erreichen.

Soweit die Darstellung Haugs. Betrachtet man die Karte Fig. 26 und stellt man sich vor, daß ein tangentialer Druck die skandinavisch-schottische Geosynklinale wie die zwei Backen eines Schraubstockes aus Südosten und Nordwesten traf, wobei der huronische Teil des nordwestlich gelegenen nordatlantischen Kontinentes als der eine und Schweden als der andere Backen des Schraubstockes wirkte, dann wäre absolut nicht erklärlich, wie in Schottland eine Nordwest gerichtete Überquellung hätte zustandekommen sollen. Denn zu einer solchen hätte es eines Druckes aus Südosten oder eines Druckes aus Nordwesten, im letzteren Falle aber eines Widerlagers im Südosten bedurft und keines von beiden war vorhanden. Denn nach Süden und Südosten dehnte sich nach Haugs eigener Angabe eine Fortsetzung des schottischen Geosynklinalmeeres aus „bis zur Sahara" hinunter, und angeblich erzeugt ja nicht die Geosynklinale den Tangentialdruck, sondern die „kontinentalen" Randgebiete sind die Schraubstockbacken, von denen die Geosynklinale zusammengepreßt wird. In der Haug'schen, wie überhaupt in der Auffassung der Tangential-

1) Haug, E., Traité de Géologie, Tome II, Paris 1908—1911, S. 730—732.

Digitized by Google

theoretiker muß die Geosynklinale selbst eine ganz passive Rolle spielen, sie muß von außen her zusammengepreßt werden. Die Backen des Schraubstockes sind aber, außer im westskandinavischen Teile, tatsächlich nirgends zu sehen und auch südwärts tatsächlich nicht vorhanden gewesen, denn die Geosynklinale hat sich ja bis über das Mediterrangebiet hinüber nach Nordafrika erstreckt und dort nur an ihrem südlichsten Rande ebenfalls Bewegungen gezeitigt, die den nordischen vielleicht homolog waren. Aber dazwischen in der ganzen Breite wurden keine Falten erzeugt, es kann also auch kein tangentialer Druck diese Geosynklinale zusammengepreßt haben. Und wo sollte, wenn er von Nordwesten kam, das Widerlager — der andere Schraubstockbacken — liegen, da das Geosynklinalgebiet doch selbst kein solches Widerlager abgeben oder einen aktiven Druck gar nicht selbst liefern kann, da es sich nach der Tangentialtheorie passiv verhält und zusammengepreßt wird?

Ganz einfach aber löst sich die Frage und wird dem tatsächlich auf Karte (Fig. 26) vorliegenden Bilde gerecht, wenn man annimmt, daß die kaledonische Gebirgsbewegung aus dem Schoße der Geosynklinale selbst geboren wurde gemäß den oben dargelegten Anschauungen. Dann kann man sehr gut die Tatsache erklären, daß in dem großen, südwärts so weit ausgedehnten Geosynklinalgebiete nur stellen- und regionenweise Auffaltungen und Randüberschiebungen sich einstellten, weil die Tiefenkräfte ungleichmäßig wirken können. Nach der Tangentialtheorie **muß** jeweils das **ganze** Geosynklinalgebiet gefaltet werden — die Schraubstockbacken pressen das **ganze** Areal zusammen; nach der Elevations- oder Expansionstheorie können **Teile** der Geosynklinale auftauchen, andere sich senken oder stehen bleiben, die aufgetauchten verschieden stark gefaltet und randlich überschohen, also alle jene Erscheinungen zwanglos erklärt werden, die wir in dem angezogenen Beispiel tatsächlich bestehen sehen.

Noch eines scheint mit für die thermische Expansionstheorie und gegen die Tangentialtheorie zu sprechen. Es wäre merkwürdig, wenn der Tangentialdruck, der zur Gebirgsbildung führt, immer wartete, bis sich in der Geosynklinale eine verhältnismäßig **mächtige** Sedimentserie abgelagert hat. Wenn die Auffaltung einem tangentialen Drucke verdankt wird, dann ist gar nicht einzusehen, warum dieser nicht schon anfänglich wirkt, ehe der Geosynklinalboden durch langdauerndes Absenken großen Sedimentmassen Gelegenheit zur Ablagerung gegeben hat. Da aber alle unsere Ketten- und Faltengebirgszonen mit den Arealen großer Sedimentmächtigkeit zusammenfallen und die Emporfaltung also immer erst **nach** deren Ablagerung geschah, diese Ablagerung aber eine sehr lange Senkungszeit voraussetzt, so kann nur eine Gebirgsbildungstheorie befriedigen, bei der **alle** diese Vorgänge und Zustände der Reihe nach ursächlich mit dem Emporkommen der Falten selbst verknüpft sind, und diese Forderung erfüllt die Tangentialtheorie gar nicht.

An der auf S. 113 zitierten Stelle läßt Volz den die tertiären Faltungen Sumatras erzeugenden Druck aus dem Absinken benachbarter Krustenteile hervorgehen und sich an den alten, teilweise zerstückelten Gebirgskernen als Widerlager anlegen, wie wir das ja für die Alpen am böhmischen Massiv z. B. längst kennen. Abgesehen davon, daß dies eine rein lokal beschränkte Erklärung für einen Prozeß ist, der von der Kreidezeit ab bis an's Ende des Tertiär auf der ganzen Erde wirk-

Digitized by Google

sam ist und in den auch die Faltung in Niederländisch-Indien nur als integrierender Bestandteil des Ganzen einbezogen werden muß, ist auch das Einbrechen und Verschwinden von Landmassen im Gebiete des Indischen Ozeans ein schon im Mesozoikum vor sich gehender Prozeß. Warum sollte der erst im Jungtertiär zu einer Faltung an den Rändern des Bruchgebietes geführt haben? Wenn, wie VOLZ selbst meint, Zerrungen zu Brüchen und Verwerfungen und Senkungen führen, dann sind die Niederbrüche die Folgen der Zerrungen und kompensieren sie. Ist der Raumausgleich erreicht, dann tritt Ruhe ein und wo sollte nun tangentialer Druck herkommen? Der könnte nur erzeugt werden, wenn weiterhin ein Hohlraum unter dem betreffenden Krustenstück verbliebe oder entstünde, eine Anschauung, die nicht haltbar ist, denn die Erdkruste ist an keiner Stelle ein freischwebendes Gewölbe und auch die salischen Schollen, auf denen nach unserer Auffassung die Gebirge liegen, haben nicht den Charakter von freischwebenden Gewölbestücken.

Wenn auch zuzugeben ist, daß aus lokalen Einsenkungen gelegentlich tangentiale Drucke auf Nachbarschollen ausgeübt werden und, wenn diese wenig widerstandsfähig sind, zu geringen Verbiegungen und Rahmenfaltungen führen, so ist das doch prinzipiell etwas anderes, als die Entstehung eines Faltengebirges von alpiner Struktur.

DALY hat die Theorie aufgestellt[1]), daß magmatische Massen in den unteren Teil der festen Erdkruste eindringen können, wodurch sich in der Umgebung und besonders über der Injektion Verdichtungszentren bilden, von denen aus die Gesteinsmassen abdrängen. Es entstehen so Massendefekte, die zu Einsenkungen der Erdoberfläche, d. i. zu Geosynklinalbildungen führen, die sich noch durch das Gewicht der sich in ihr sammelnden Sedimente besonders senken. Hierdurch herbeigeführte Schwächungen der äußeren Rindenzone erlauben dem in der Kruste vorhandenen Tangentialdruck in Aktion zu treten und dieser, vereint mit dem Aufquellen, das infolge Umsetzungen der eingesenkten Sedimente und Gesteine durch Erwärmung vor sich geht, führt zur erneuten Hebung des Geosynklinalbodens und zur Auffaltung des Gebirges. Das Nachdrängen eingeschmolzener Krustengesteine aus der Tiefe erzeugt die mit der Gebirgsbildung meist Hand in Hand gehenden vulkanischen Intrusionen.

Mit diesen und ähnlichen Gedankengängen, die alle den Sitz der gebirgsbildenden Kraft in die Tiefe verlegen und die wir als thermische Theorien kurz bezeichnen können, sind alle Momente verwertet, die empirisch inbezug auf die Geosynklinalbewegungen gewonnen wurden: 1. das primäre Absinken und das erst hierdurch möglich werdende Aufhäufen von Sedimenten (S. 140); 2. die isostatische Mitwirkung des Sedimentgewichtes, das nur ein Hilfsfaktor, aber nicht die alleinige Ursache des Einsinkens sein kann (S. 153); 3. die Eigenart des Rindenstückes unter der Geosynklinale im Gegensatz zu extrageosynklinalen Gebieten (S. 148); 4. das Ansteigen der Geoisothermen infolge der Einsenkung und seine aufquellende Wirkung (S. 141); 5. der vielleicht mitsprechende, aber nicht primär wirksame tangentiale Zusammenschub (S. 139 und 153); 6. der Metamorphismus und Vulkanismus (S. 143 und 154); 7. die spätere Möglichkeit des

1) DALY, R. A., Abyssal igneous injections as a causal condition and as an effect of mountain-building. Amer. Journ. Sci, Vol. XXII, 4. Ser., New-Haven 1906, S. 195—216.

Wiederabsinkens der Gebirgszone, wenn Erkaltung eingetreten ist (S. 150); 8. die Möglichkeit von Schwankungen während der Aufwärtsbewegung (S. 146). Einerlei also, wie die Ursache der Geosynklinalbewegungen und Gebirgsbildung schließlich im einzelnen aussehen mag, soviel darf man heute schon mit Sicherheit behaupten, daß die primitive Kontraktions- und Tangentialdrucktheorie aus positiven und negativen Gründen einer Anschauung weichen muß, bei der die Wärme und ihre dynamischen und thermisch-metamorphosierenden Wirkungen eine entscheidende Rolle spielen.

6. Zusammenfassung.

Es gibt Bewegungen der Erdkruste, die wir als einfache Brüche und Verbiegungen auffassen können und es gibt auch Spannungen, welche in tangentialer Richtung Verbiegungen und Wellungen von geringer Amplitude bewirken können. Die Brüche stehen vielleicht im Zusammenhang mit Zerrungen. Isostatische Auf- und Abwärtsbewegungen von salischen Krustenteilen durch Entlastung oder Belastung mögen da und dort unmittelbar auftreten, wenn die sonstigen Verkeilungen der Erdkrustenschollen dies gestatten. Durch derartige Bewegungen, die wir unter dem Begriff der epirogenetischen zusammenfassen wollen, können lokale Trans-und Regressionen zustande kommen.

Ihnen stehen gegenüber die Geosynklinalbewegungen, zu denen wir auch die orogenetischen rechnen müssen. Die Geosynklinalen sind als Ganzes etwas Eigenartiges; sie stehen hinsichtlich der Trans- und Regressionen in einem Komplementärverhältnis zu den übrigen Regionen. Ihre Bewegungen scheinen eigenen subkutanen Verhältnissen zu entspringen. Das schließt nicht aus, daß ehemalige, später aber erloschene Geosynklinalgebiete von den zuvor benannten Bewegungen betroffen werden. Sie scharf zu definieren nach äußeren Merkmalen, ist schwierig, weil sie eine Menge Eigenschaften haben, die zwar im großen und ganzen für sie charakteristisch sind, die aber gelegentlich auch anderen Gebieten zukommen. Man muß sie mehr in ihrer ganzen Entwicklung und in ihrem Verhalten durch lange Zeiträume hindurch erfassen. Sie genau definieren, hieße, ihre Geschichte schreiben. Jedenfalls aber können wir sie bezeichnen als besonders labile Zonen der Erdkruste, die sich mehr als alle anderen bis zu extremen Höhen und Tiefen bewegen können. Erfolgt in ihnen zugleich mit der Sedimentauflagerung die säkuläre Absenkung, dann treten die geschilderten thermischen Wirkungen ein und es erfolgt eine Hebung. Diese der Senkungstendenz entgegenarbeitende, sie vielleicht überwindende Hebung führt zu Verflachungen des Geosynklinalmeeres, zu Trockenlegung und im extremsten Falle zu Gebirgsbildung. Hand in Hand damit gehen Transgressionen auf ruhigeren Schollenarealen. Die durch thermische und krystallokinetische Expansionen entstandenen Hebungen oder Gebirgsaufwölbungen sind vielfach nichts Dauerndes: die dem Geosynklinalgebiet primär eigene Senkungstendenz kommt nach und nach, wenn der thermische Expansionsprozeß abgeschlossen ist, wieder zur Geltung und der Boden des Geosynklinalgebietes sinkt wieder von neuem. Selbst wenn er bis zu einem Kettengebirge aufgequollen war, hindert eine längere Zeit wirksame, die Falten stark ein-

Digitized by Google

ebnende Denudation und die damit verbundene Massenentlastung nicht das den Gesetzen der Isostasie eigentlich widersprechende erneute Absinken, wie uns das Silurgebirge Norddeutschlands und das ostalpine Karbongebirge lehrt. Es ist also ein vergebliches Bemühen, die Geosynklinalbewegungen, wie sie uns in der Erdgeschichte entgegentreten, ohne weiteres auf isostatische Vorgänge zurückführen zu wollen. Wir erkennen in ihnen vielmehr eine Erscheinung ganz anderer Art, deren Ursache, soweit sie die Hebungen betrifft, wohl thermischer Natur und soweit sie die Senkungen betrifft, gewiß nicht isostatischer Art ist, sondern einer uns derzeit noch unbekannten tiefersitzenden Kraftquelle entspringt. Hier könnten Ampferers „Unterströmungen", oder magmatische Vorgänge unter der Erdhaut oder dgl. in Zukunft weitere Bedeutung gewinnen.

Die Lachmann'sche Theorie läßt sich nun vorzüglich mit der von Suess inaugurierten und von Wegener vertretenen Unterscheidung salischer Schollen und ihrer allmählichen Horizontalverkürzung durch die Gebirgsfaltungen in Einklang bringen. Wir müssen nur die eine Voraussetzung machen, daß sich die ganze Geosynklinalbewegung innerhalb der salischen Schollen abspielt, die Geosynklinalen also nie und nirgends im Sima lagern, sondern stets nur im Sal selbst. Dann wird von selbst verständlich, wieso sich eben durch die Gebirgsfaltungen die salischen Massen im Laufe der Erdgeschichte verdicken und verkürzen konnten und zugleich wird die ganze Kontraktionstheorie überflüssig. Damit fallen aber auch alle Berechnungen ins Wasser, welche aus den stattgehabten Faltengebirgsbildungen Radiusverkürzungen der Erde ableiten und ihren Betrag ziffernmäßig festsetzen wollten. Stellt man solche Berechnungen an, so können sie nur zu Angaben über den Betrag der Zusammendrängung der salischen Kruste selbst führen; der Erdkörper als Ganzes bleibt von den Gebirgsfaltungen unberührt, und diese haben lediglich die Wirkung, die Horizontalbedeckung des Sima durch das Sal zu verringern. Daß Tangentialdruck sekundär, nämlich nach Ablauf des Gebirgsbildungsprozesses, sich noch geltend machen kann und dann zum Zusammenschub der salischen Masse führt, ist oben besprochen worden.

Wir haben jetzt mehrere Gesichtspunkte gewonnen, von denen aus wir das Phänomen der Hebungen und Senkungen und das damit in Zusammenhang stehende der marinen Trans- und Regressionen und der Gebirgsbildung zu beurteilen vermögen. Wir sehen, daß diese Erscheinungen von mehreren Ursachen bewirkt werden können, Ursachen, die entweder allein, jede für sich, da und dort auftreten, oder die sich auch kombinieren können, an der einen Stelle zu verstärkter Wirkung, an der anderen sich durchkreuzend und eine Interferenzwirkung produzierend. Auch hierbei zeigt sich wieder, wie sehr es den wissenschaftlichen Fortschritt hemmt, zu glauben, man könne eine geologische Erscheinung auf eine einzige Ursache zurückführen, statt sich an das Bild des Netzes zu halten, bei dem in einem Knoten vielerlei Fäden zusammenlaufen. Wir werden im Folgenden gelegentlich noch sehen, daß wir die Mannigfaltigkeiten und die Ursachen der Entstehung säkulärer Hebungen und Senkungen, sowie der Trans- und Regressionen damit noch keineswegs erschöpft haben.

Digitized by Google

VI. Das Permanenzproblem.

1. Die Entwicklung der Kontinente in nachalgonkischer Zeit.

Wir werden später das Archaikum und Algonikum in anderem Zusammenhange stratigraphisch noch behandeln. Rein paläogeographisch läßt sich darüber kaum etwas Zusammenfassendes sagen. Für die Land- und Meeresverteilung in nachalgonkischer Zeit bis zur Jetztzeit herauf stehen soviele Orientierungsmittel zur Verfügung, daß auf diese ohne weiteres verwiesen werden kann. Die Werke, welche paläogeographische Karten enthalten, sind im Kapitel II zu finden. Es soll darum hier nur eine kurze Übersicht folgen, die sich im wesentlichen auf jene Werke (Frech, Haug, Kossmat, Lapparent) stützt.

Die ganze paläozoische Zeit ist charakterisiert durch die Existenz eines wahrscheinlich in seinen einzelnen Teilen zusammenhängenden großen südlichen Landkomplexes (Karte Fig. 3, S. 18). Er lag auf dem unmittelbar an die heutige Äquatorialregion sich anschließenden Teile der Südhemisphäre, und griff in Afrika bis zum nördlichen Wendekreis hinaus, war in Australien und Südamerika etwas nach Süden verschoben. Diese Südkontinentalmasse, wie wir sie kurz nennen wollen, ist primär gebildet von den archäischen Kernen Brasiliens, Zentral- bis Südafrikas, Madagaskars, Indiens und Australiens (Karte, Fig. 27). Ihr liegt auf der Nordhemisphäre gegenüber, aber wesentlich vom Äquator abgerückt, eine andere Kontinentgruppe, von der es nicht sicher ist, ob sie stets ein zusammenhängendes Ganzes bildete. Sie besteht aus dem kanadisch-grönländischen, dem fennoskandischen und dem sibirischen Kern, dem sich südostwärts der sinische anschließt, während untergeordnetere zwischen dem fennoskandischen und dem afrikanischen außer Betracht bleiben mögen. An diese alten krystallinen archäischen Kerne, die auf beifolgender, aus Lapparent entnommenen Karte (Fig. 27) dargestellt sind, gliedern sich nach und nach andere, jüngere Kontinentalgebiete an und erweitern sie und lassen sie untereinander in Verbindung treten, oder es werden weite Teile von den archäischen Massen selbst überflutet und dafür jüngere Partien trocken gelegt. Es ist also nicht an dem, daß sich diese Kontinentalkerne irgendwie und zu irgend einer Zeit so dargestellt hätten, wie es die beifolgende Kartenskizze zeigt, sondern diese Karte gibt uns nur eine Art Symbol für die Tatsache, daß sich im wesentlichen um jene ältesten gefalteten Massen herum in bald größerer, bald geringerer Ausdehnung Trockenlegungen des salischen Krustenbodens zeigten, die dann alsbald wieder Überflutungen ausgesetzt waren.

Digitized by Google



Figur 27.

Digitized by Google

Will man in der Verteilung von Land und Meeresbedeckung während des Paläozoikums irgendeine Gesetzmäßigkeit anerkennen, so wird man vielleicht sagen, daß im Paläozoikum die Inundationen der nördlichen Landkomplexe häufiger und ausgedehnter waren als die der südlichen. Dabei wechselten Zeiten mit ausgesprochen thalattokratischem Charakter, wie das Obersilur, mit solchen von mehr geokratischem Charakter, wie das Karbon ab. In der Nordregion scheint ein gewisser charakteristischer Zug auch darin zu bestehen, daß zu Anfang des Paläozoikums eine Meeresbedeckung von Geosynklinalcharakter von Süden her tief in den nordatlantischen Kontinent eingreift und das östlichste Nordamerika, Westskandinavien, Schottland und Irland erfaßte, während andererseits das zentrale Nordamerika und der russisch-uralische Teil der Nordhemisphäre im Kambrium durchaus die Tendenz zeigen, ihren Festlandscharakter zu wahren, wenn auch in Zentralamerika eine oberkambrische Überflutung sich vollzieht. Im Devon liegt die Sache umgekehrt, wie zu Anfang des Paläozoikums. Da ist Ost- und ein großer Teil von Zentralnordamerika samt England mit Ausnahme des äußersten Südens, ganz Skandinavien und Finnland ein Festlandsgebiet, die Uralgegend ein Geosynklinalmeer geworden. Dazwischen liegt das Silur mit seiner weit überflutenden und neue Verhältnisse schaffenden Meeresausdehnung, und es ist gerade, als ob sich auf der Nordhemisphäre in den genannten Regionen unter dem Schleier des darüber gebreiteten Silurmeeres eine Verwandlung der Situation vollzogen hätte. Es scheint, daß in der ältesten paläozoischen Zeit, also im Kambrium, vor allem Sibirien — später oft ein Festlandsareal — weit und breit von Meer bedeckt war, daß aber vom Devon ab der sibirische und der fennoskandisch-nordatlantische Kontinent wesentlich auftauchten und dafür die genannte uralische Geosynklinale sich bildete.

Mit einer gewissen Beständigkeit sind die beschriebenen paläozoischen Kontinentalmassen von Geosynklinalmeeren flankiert gewesen, aus denen zum Teil noch während des Paläozoikums, zum Teil gegen Ende desselben Gebirgsfalten emporstiegen. Schon im Kambrium hebt sich als Westflanke des nordamerikanischen Kontinentalteiles auf der Nordhemisphäre eine westamerikanisch-nordandine Meereszone ab und auf der Südhemisphäre als Westflanke des brasilischen Kontinentes mehr andeutungsweise als genau nachweisbar eine südandine, die sich im Devon ausgesprochen manifestiert und auch durch das Amazonasgebiet zuweilen in die brasilisch-südatlantische Masse ostwärts eindringt. An ihrem Ostende ist die Südkontinentalmasse durch ein heute vom australischen Ostgebirge eingenommenes, sehr permanentes, vom Kambrium bis ans Ende des Paläozoikums bestehendes geosynklinales Meeresareal begrenzt, und nordwärts haben wir ein chinesisch-hinterindisches und im Kambrium wahrscheinlich, im Silur und Devon sicher vorhandenes himalayisch-kleinasiatisches Meer, dem sich seit kambrischer Zeit das mediterran-europäische Meer anschließt. Dieses Meer, das sich westwärts gegen die meridional dazu verlaufende andine Meeresrinne erstreckte, ist die uralte Tethys.

Während wir im Obersilur die größte Meeresausdehnung auf den heutigen Kontinentalgebieten haben und auch das Devon noch eine allerdings vielfach im einzelnen wechselnde weite Meeresverbreitung zeigt, bereitet sich im Karbon und Perm eine Konzentrierung der Meere in jene Gebiete vor, die auch im Kambrium, Silur und Devon

schon stets mehr oder minder deutlich vorhandene Rinnen waren, aber als solche wegen des weiten epikontinentalen Übergreifens der Wasser sich nicht durchweg so deutlich heraushoben. Dieser Prozeß erreicht in der Trias — der geokratischsten Epoche der Erdgeschichte — seinen Höhepunkt, wo der kanadisch-fennoskandisch-sibirische Kontinentalkomplex als Einheit erscheint gegenüber dem ebenso geschlossenen Südkontinent, und wo auch die uralische Meeressenke verschwunden ist. Die Meere haben sich zur Triaszeit zurückgezogen in jene Gebiete, aus denen die känozoischen Kettengebirge später aufstiegen; und nur ganz geringe, außerhalb dieser Gürtel gelegene Zonen sind gelegentlich inundiert. Es ist der ausgesprochenste Gegensatz zur Obersilur-Devonzeit. So heben sich also in der Triaszeit die nördlichen und südlichen Kontinentalmassen noch einmal in allergrößtem Umfange einheitlich heraus, um dann einer Zerlegung entgegenzugehen, während die sibirische sich nunmehr zu dem großen asiatischen Kontinent auszuweiten beginnt, der gewissermaßen das Erbe des paläozoischen Südkontinentes anzutreten bestimmt ist.

Vom Lias ab schneidet über Westmadagaskar südwärts eine von dieser Zeit an sehr permanente Meeresrinne ein. Während aber dieses Meer zur Jura- und Unterkreidezeit nur schwache Überflutungen nach dem Randgebiete des afrikanischen Kontinentes entsendet, wird dieser zur Oberkreidezeit, ebenso wie Südamerika, von der Tethys aus weit überflutet. Die Trennung des afrikanischen und südamerikanischen Festlandes ist damit zum erstenmal, aber zugleich auch endgültig vollzogen. Der australische Teil wurde vorübergehend im Jura und in der Kreide auf weite Strecken hin überflutet, das alte ostaustralische Dauermeer ist seit Ende des Paläozoikums verschwunden, und wir müssen annehmen, daß auch zwischen Madagaskar-Indien einerseits und Australien andrerseits eine endgültige Auflösung zur Oberkreidezeit eingetreten ist.

Der nordatlantische Kontinent ist zur Jura- und Unterkreidezeit von Norden her vielfach inundiert und auch von Süden her aus der europäisch-englischen Zone dringt das Meer vor. Nordamerika wird zur oberen Kreidezeit von der andinen Meeressenke her stark, im Jura schwach überflutet, während Rußland in der Kreide noch ausgedehnter als im Jura bedeckt wird; die Polarregion wird in Jura und Unterkreide ausgiebig inundiert. Asien, der sinosibirische Kontinent, dagegen sinkt mit Ausnahme des nördlichen Ostsibiriens und des vom Himalayanordrande ab südwärts gelegenen Teiles nach der Trias, von Randingressionen abgesehen, nichtmehr unter das Meer — im wesentlichen erhält sich die permanente himalayische Tethys. In dem Maße, als die Südkontinente zerfallen, bildet sich auf der Nordhemisphäre der asiatische Kontinentalklotz heraus.

Im Alttertiär war Europa, mit Ausnahme des fennoskandischen Schildes und eines daran anschließenden westrussischen Teiles, ganz Südrußland und ein nordsüdlicher uralischer Streifen, ferner die Mediterranregion mit dem Atlasgebiet und dessen östliche Fortsetzung über das Schwarze Meer, Kleinasien, Kaspi- und Aralsee ein großes Meer und dieses stand längs des Westrandes des skandinavischen Gebietes durch die Nordsee mit einem nördlichen, Grönland nichtmehr mitumfassenden Meere in Verbindung. Afrika und Südamerika sind nur an ihren äußersten Rändern noch inundiert, nur Australien stärker im Süden und Westen. Sie sind die zusammengeschmolzenen oder iso-

Digitized by Google

lierten Reste des alten Südkontinentes, das Weltmeer ist auf der Südhemisphäre wahrscheinlich so ausgedehnt, wie heute, und wohl nur im Indischen Ozean, von Ostmadagaskar nach Indien ausstrebend, ist noch der lemurische Inselkontinent vorhanden. Nord- und Südamerika sind getrennt. Nordamerika und Ostasien sind nur mehr an ihren Rändern, die Antillen ebenso wie Neuseeland seit dem Mesozoikum überflutet. Von der alttertiären Zeit ab, kann man sagen, ist das Übergewicht des Landes auf der Nordhemisphäre erst mit Sicherheit entschieden; da es allerdings in der oberen Kreide noch ausgesprochener hier vorhanden gewesen sein dürfte, so bedeutet die heutige südliche Wasser- und nördliche Landhalbkugel schon wieder eine Abminderung dieses Gegensatzes. Im Jungtertiär stellen sich dann mit der Auffaltung der jungen Gebirge allmählich die heutigen Verhältnisse ein.

Dieses ist die letzte bedeutende Gebirgsbewegung, die wir in der Erdgeschichte gehabt haben, wenn wir unter „Gebirgsbewegung" (Orogenesis) hier und im folgenden nur die zu Auffaltungen führenden Geosynklinalbewegungen, nicht nur einfache Trockenlegungen und Absenkungen verstehen. Schon das Algonkium zeichnete sich durch richtige Faltengebirge aus, vom Archäikum ganz zu schweigen; die aus dem Algonkium stammende, huronische skandinavisch-kanadische Kette bildet noch in kambrischer Zeit den Südwall des nordatlantischen Kontinentes. In Kanada sind die algonkischen Ketten westöstlich gerichtet, teilweise auch südwestlich bis nordöstlich; das gleiche gilt für die Hebriden, Nordschottland und die Lofoten, und daraus kann man folgern, daß die Kette über den nordatlantischen Ozean hinüberreichte. Nach Sederholm ziehen die fennoskandischen archäischen Faltungen etwa ostwestlich, die algonkischen dagegen überschneiden sie oft in NS.- oder wenigstens NW.-SO.-Richtung. In Asien liegt am Südrande des sibirischen Plateaus das Kambrium transgressiv auf gefaltetem Präkambrium und zwar liegt es heute noch dort horizontal. Im Norden von Irkutsk treffen sich zwei verschieden alte algonkische Faltenzüge; der eine mit SO.- oder OSO.-, der andere mit SW.- oder WSW.-Streichen. Suess gab jenem den Namen sinischer, diesem den Namen baikalischer Faltenzug. Überall kennt man auch ungeheuere vulkanische Ergüsse zu algonkischer Zeit, aber die genaue Rekonstruktion ist fast stets unmöglich, weil die Vorkommen verwischt sind, teils durch die algonkischen Faltungen selbst, teils durch die algonkischen und nachalgonkischen Denudationen.

Das Kambrium ist orogenetisch eine außerordentlich ruhige Zeit; auch die vulkanischen Kräfte äußerten sich im Verhältnis zum Algonkium außerordentlich wenig. Dann kommt eine unruhige Periode. Am Schluß der Untersilurzeit machen sich im westlichen Nordamerika, im Süden des kanadischen Schildes, in Wales, Mittelengland und Südamerika Aufwärtsbewegungen bemerkbar, an der atlantischen Seite Nordamerikas entstehen die Takonischen Berge. Am Ende der Obersilurzeit faltet sich in Skandinavien, Schottland, England die kaledonische Gebirgszone auf und im Devon folgen noch einzelne Bewegungen nach, die nicht alle zu richtigen Gebirgsbildungen führen. Es sind Geosynklinalunruhen extremer und weniger extremer Natur, die sich z. T. auch auf Trockenlegung von Meeresboden beschränken. In der französischen Sahara finden wir ein Gegenstück zu den europäischen kaledonischen Bewegungen. Mit dem Anfang des Devon setzen sich

die Unruhen in Skandinavien, England, Belgien, Deutschland, Timan, Ural fort; auch Südafrika wird davon betroffen. Der Südteil der europäischen kaledonischen Alpen sank alsbald wieder unter das Meer und war schon im Oberdevon wieder bedeckt. Entsprechend den Gebirgsbewegungen ist der Vulkanismus im Devon sehr lebhaft, im Silur etwas weniger. Das Karbon ist eine Zeit ausgedehntester Faltengebirgsentstehung. Es ist die Periode der armorikanisch-variszisch-herzynischen Gebirgsbewegungen, welche nicht nur das ganze außerrussische und außerfennoskandische Europa betrafen, sondern auch in Afrika, Asien (Altaiden), Nordamerika, Australien zu ausgedehnten Gebirgsbildungen führten. Die Auffaltungen geschahen nicht alle gleichzeitig, meistens aber vor der letzten Karbonzeitphase. Ural-Tianschan- und Appallachenfaltung sind die jüngsten, die pyrenäische fällt wesentlich ins Perm; in der Bretagne und in Südwestdeutschland, sowie in Thüringen beginnen die Faltungen schon im untersten Karbon; in den Südvogesen und dem Zentralplateau machen sich posthume Bewegungen noch bis zum Anfang der Triaszeit bemerkbar. Der Vulkanismus ist im Karbon und besonders im Perm stark tätig.

Die Trias selbst ist eine Zeit absoluter orogenetischer Ruhe, ebenso fast der ganze Jura, wenn man absieht von einer regional beschränkten, im westlichen Nordamerika vor sich gehenden Faltungsdiskordanz zwischen Kimmeridge und Tithon und den übrigens von manchen Seiten in Frage gestellten Gebirgsbewegungen in Norddeutschland. Der Vulkanismus ruht verhältnismäßig zur Trias- und Jurazeit gegenüber den älteren Perioden, doch sind in der Trias lokale Eruptionen (Westamerika) zum Teil außerordentlich mächtig. Orogenetisch unruhiger ist wieder die Kreideformation. In den Alpen kommt es zu relativ ausgiebigen ersten Bewegungen, ebenso treten solche in den Pyrenäen und in Nordafrika auf; und wenn es auch nicht zu eigentlichen, dauernd über das Meer heraustretenden Gebirgsbildungen kommt, so machen sich derartige Bewegungen doch auch anderenorts (nordpazifische Ränder) etwas geltend. Diese Bewegungen sind stellenweise von vulkanischen Erscheinungen begleitet. Die Gebirgsbewegungen steigern bzw. wiederholen sich im Alttertiär mit Unterbrechungen in allen Regionen heutiger junger Faltengebirge und erreichen ihren Höhepunkt im Jungtertiär, wo allen den genannten Gebirgskörpern ihre letzte größte Aufrichtung zuteil wird. Entsprechend ist auch der Vulkanismus besonders im unteren Jungtertiär sehr lebhaft.

Ein spezielles Problem ist noch die Existenz eines etwaigen pazifischen Kontinentes in früheren Erdzeitaltern. Es ist nicht ausgeschlossen, daß weitausgedehnte pazifische Landmassen oder kontinentale Inselkomplexe existierten, die später denudiert wurden, zerbröckelt und versunken sind. Aufschluß darüber werden uns die Schweremessungen im Pazifik vielleicht bringen können. Haug hat die Gründe zusammengestellt, die für einen pazifischen Kontinent sprechen[1]): die Zusammensetzung vieler pazifischer Inselgruppen aus archäischem Gestein; die Konfiguration des pazifischen Meeresbodens im ganzen, der, abgesehen von der sphärischen Rundung der Erde, eine nach der Mitte hin ausgesprochene Konvexität zeigt und so einem versunkenen Kontinente gleicht; die Tatsache, daß der Pazifik im Mesozoikum noch von Geosynklinalmeeren eingerahmt war. Da diese, nach

1) Haug, E., Traité de Géologie, I, Paris 1907, S. 526ff. und 169/170.

Haugs Lehre marine Senken zwischen Kontinentalgebieten gewesen seien, so müsse man sie von einem pazifischen Kontinent flankiert denken. Auch die Tatsache, daß die pazifischen randlichen Faltengebirgswellen gegen ihn hinausfluten, erfordere die Annahme eines pazifischen Landes als Widerlager.

Gegen diese Gründe läßt sich mancherlei einwenden. Die Zusammensetzung der pazifischen Inseln deutet nur auf beschränkte Landkomplexe, die nicht geleugnet werden sollen, zumal auch westlich von Südamerika Anhaltspunkte für solche gegeben sind, wie schon oben S. 75 einmal mitgeteilt wurde. Von der Anerkennung solcher beschränkter Landmassen bis zu der eines „pazifischen Kontinentes" ist aber noch ein weiter Schritt, den zu tun schon die eine Frage unmöglich macht: Wo hätten dann die Wasser des Pazifik bleiben sollen? Zudem ist von nordpazifischen Gneisinseln nicht das Geringste bekannt. Der zweite Grund, die Konvexität des pazifischen Bodens, ist ungenügend, denn er hätte zur Voraussetzung, daß ein ungeheuerer Kontinent als ungeborstene Masse einheitlich versunken wäre. Wo im Meso- oder Altkänozoikum ist aber auf der übrigen Erde das Korrelat zu einer solchen Katastrophe nachzuweisen, die doch von der allergrößten Wirkung auf den Bestand anderer Kontinentalgegenden und auf die Verteilung der Meeresbedeckungen gewesen wäre! Auch den dritten Grund, daß Geosynklinalmeere eingekeilte Rinnen zwischen Kontinentalmassen seien oder gewesen seien, haben wir oben (S. 130/131) schon als unwahrscheinlich zurückzuweisen versucht, und die Widerlager für Gebirgswellen erscheinen uns gleichfalls nach den Ausführungen über Gebirgsbildung im Kapitel V nicht so zwingend notwendig, um daraus auf einen so unwahrscheinlichen Kontinent zu schließen. Es wird daher richtiger sein, wenn auch nicht einzelne pazifische Landkomplexe, so doch einen geschlossenen pazifischen Kontinent für die historisch-geologische Zeit zu leugnen.

Wenn auch der Wechsel von Festland und Meer, oder besser gesagt: von Wasserbedeckung und Trockenlegung, anscheinend regellos und außerordentlich lebhaft ist, so zeigt doch eine genauere Verfolgung der Details, daß hier zweifellos Gesetze verschleiert liegen, die es mit der Zeit noch zu enthüllen gilt. Der Rhythmus gewisser Linien wurde schon für die Meeresverteilung in Rußland nach Karpinsky oben im Kapitel II, S. 27/28, erwähnt und auf den beifolgenden Karten (Fig. 28) dargestellt. Die Meeresbedeckung wechselt mit auffallender Regelmäßigkeit in ostwestlicher und nordsüdlicher Erstreckung. A, C, E repräsentieren die Folge: Untersilur, älteres Mitteldevon Unterkarbon; zwischen sie hinein schieben sich B, D, F: Unterdevon, jüngstes Oberdevon, jüngstes Oberkarbon. Im Mesozoikum verläuft im Jura (G), in der Oberkreide (J) und im Unteroligocän (L) das Meer ostwestlich, dazwischen in der Unterkreide (H), im Untereocän (K) und zuletzt in Pleistocän (M) meridional.

Ein ähnlicher, wenn auch nicht so häufig sich wiederholender Wechsel der Nordsüd- und Ostwestrichtung läßt sich auch in Deutschland nachweisen. Stille hat als „niedersächsischen Uferrand" eine von Magdeburg über den Harz und Solling zur rheinischen Masse streichende tektonisch wichtige Linie bezeichnet[1]), die zu verschiedenen

1) Stille, H., Die mitteldeutsche Rahmenfaltung. 3. Jahresber. d. Niedersächs. Geol. Ver., Hannover 1910, S. 226 ff.

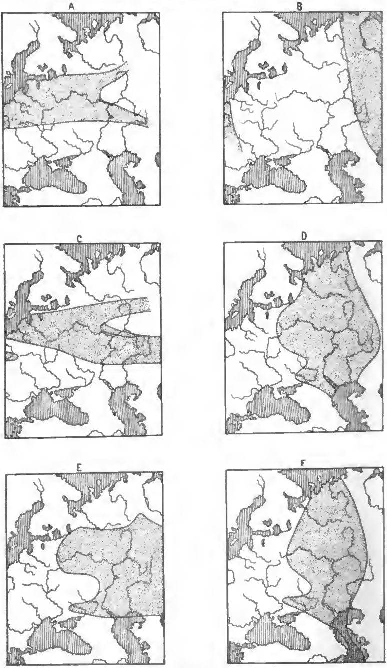


Fig. 28 A.

Digitized by Google



Fig. 28 B.

Digitized by Google

Zeiten den Südrand eines nordwärts davon liegenden Sedimentationsbeckens (niederdeutsches Becken) bildete, an das sich südwärts von jener Linie die „mitteldeutsche Festlandsschwelle" anschloß. (Vgl. die dick punktierte Linie in Fig. 21 auf S. 132.) Dogger, Malm, Unterkreide, Senon und Unteroligoeän finden hier die Südgrenze ihrer marinen Entwicklung, während Perm, Muschelkalk und Lias marine Senken quer zu dieser Linie in nordsüdlicher Richtung bilden.

Auch die häufige Wiederkehr gleicher Meeressenken in getrennten Zeitaltern beweist, daß es gewisse Regelmäßigkeiten gibt, und daß manche Regionen der Kruste einen bestimmten, von anderen Teilen unterschiedenen Charakter haben, der von Zeit zu Zeit immer wieder durchbricht, auch wenn er vorübergehend durch andere akzidentelle Umstände verdeckt wurde. So wiederholt sich der nach Westen geöffnete „Golf von Cotentin" im Lias an einer Stelle, wo schon Oberkarbon-, Perm- und Untertriasablagerungen sich mit derselben Umrahmung bildeten[1]); der Bristolkanal bildet schon im Devon und Karbon eine Fazies- und tektonische Grenze; Brandes weist darauf hin, daß dem mitteldeutschen Bau ein alter, sich ständig wieder Geltung verschaffender Plan zugrundeliegt, da in den Gebieten, die während und nach der variszischen Faltung Hochgebiete waren, seither im großen und ganzen Aufwärtsbewegung stattfinden[2]). Bekannt ist ja ohnedies die Zähigkeit vieler Meere, so z. B. des Nordpolarmeeres, oder mancher Geosynklinalgebiete, wie z. B. der Tethys, welche „Formationen hindurch die Scheide nördlicher und südlicher Kontinentalmassen bildete"[3]).

Diese Beispiele, die wohl zahllos vermehrt werden könnten, legen den Gedanken nahe, daß eben doch die Kontinental- und Meeresverteilungen auch im großen sich nach Gesetzen regeln, denen man einerseits mit Versuchen, wie der Tetraëdertheorie und verwandten Theoremen, beizukommen suchte, allerdings ohne bisher das Wesen der Sache wirklich ergriffen zu haben. Hier bleibt für die Zukunft eines der interessantesten paläogeographischen Probleme offen, dem man auch auf induktivem Wege schon Resultate abzugewinnen wußte. Schon 1856 hat Goodwin-Austen gezeigt, daß die Faltungen der Erdrinde in allen Zeiten vielfach denselben Linien folgten und daß sich daher aus dem Auftreten gefalteter Oberflächenschichten auch mit Sicherheit auf Faltung früherer, wenn auch diskordant darunterliegender Serien schließen lasse. Karbonische Falten in England mit Kohlenführung ließen ihn daher auch für die Gegend von Dover in der Tiefe das Vorhandensein ebensolcher Schichten voraussagen, weil die Art des tektonischen Gebarens — leichte Faltung — der an der Oberfläche liegenden verhüllenden jüngeren Schichten ihm zeigte, daß in der Tiefe gefaltetes Karbon liegen müsse[4]) (vgl. im Kapitel IX).

1) Haug, E., Traité de Géologie, Tome II, Paris 1910, S. 958.

2) Brandes, Th., Die niederländisch-hercynische Vergitterung oder Querfaltung und der jungpaläozoische Vulkanismus in Mitteldeutschland. Leipzig 1913, (5 S.)

3) Andrée, K., Probleme der Ozeanographie in ihrer Bedeutung für die Geologie. Naturw. Wochenschr., N. F., Bd. XI, Jena 1912, S. 244.

4) Goodwin-Austen, R., On the possible extension of the coal-measures beneath the south-eastern part of England. Quart. Journ. geol. Soc., Vol. XXV, London 1856, S. 38—73.

2. Gesichtspunkte für und wider die Permanenz der Kontinente und Ozeane.

Es ist eine merkwürdige Tatsache, daß angesichts der im vorigen Abschnitt geschilderten, vielfach wechselnden Verteilung der Land- und Wasserflächen die Frage überhaupt auftauchen konnte, ob die großen ozeanischen Becken und die Kontinentalmassen permanent seien oder nicht. Durch den Einfluß Lyells galt es für selbstverständlich, daß jener Land- und Meereswechsel durch die geologischen Perioden hindurch alle Arten von Land- und Meereskomplexe ineinander übergeführt haben könnte, und diese Vorstellung konnte sich besonders solange halten, als man noch keine zureichenden Begriffe von dem Charakter der jetzigen Meeressedimente gewonnen hatte. Auch schienen die tier- und pflanzengeographischen Verhältnisse der Erde weitgehende Verlegungen, Verbindungen und Zerreißungen der Festlandsareale zu fordern. Die Tier- und Pflanzengeographen waren — und sind es zum Teil auch heute noch — sehr freigebig in der Verwendung solcher Konstruktionen, und so war es nur eine sehr natürliche Reaktion, als Wallace, im Besitze ungeheuerer Kenntnisse der Tier- und Pflanzengeographie, Anfang der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts seine Stimme gegen diese Auffassung erhob und das Permanenzproblem wieder in voller Schärfe zur Diskussion stellte[1]). Er will, — allerdings mit gewissen Einschränkungen — für die Erklärung der Verbreitungserscheinungen der Tiere und Pflanzen auskommen mit ganz geringen Veränderungen, kleineren Landbrücken und deren späterer Versenkung, und gründet die Berechtigung seiner Theorie in erster Linie auf das nachweisbare Fehlen aller echten einwandfreien Tiefseebildungen in der Serie der vorweltlichen Formationen. Er war wohl auch der Erste, welcher im Zusammenhange damit die bathyale Globigerinenschlicknatur der Schreibkreide entschieden bekämpfte.

Die Permanenzfrage ist, obwohl wir doch kaum irgendwelche Regionen der Festländer kennen, die seit kambrischer Zeit nicht gelegentlich unter dem Meeresspiegel gelegen hätten, auch seit Wallace nichtmehr zur Ruhe gekommen, so ablehnend man sich auch, insbesondere in der deutschen Literatur, gegen ihre Bejahung verhielt.

Man kann die Frage von zweierlei Standpunkten aus behandeln: auf Grund allgemeiner Überlegungen und auf Grund der speziellen paläogeographischen Verhältnisse der Erdzeitalter. Einen auf allgemeinen Voraussetzungen beruhenden Schluß macht Penck, wenn er sagt[2]), daß die seit paläozoischen Zeiten nachweisbare Entwicklung terrestrer Floren und Faunen nur durch die Annahme des ununterbrochenen Bestehens von Land seit jenen Zeiten erklärlich sei. Solches Land hat, wie wir aus den terrestrischen Ablagerungen wissen, tatsächlich immer im Bereiche der heutigen Kontinentalmassen existiert. Wenn man also nicht annehmen wolle, daß sich die ozeanische Wassermenge auf der Erdoberfläche seit dem ältesten Paläozoikum namhaft vermehrt, bzw. die Erdoberfläche sich wesentlich vermindert habe, so

1) Wallace, A. R., Island life or the phenomena and causes of insular Faunas and Floras etc., London 1880, S. 81ff. The permanence of the great oceanic bassins.

2) Penck, A., Morphologie der Erdoberfläche, Bd. I, Stuttgart 1894, S. 180.

Digitized by Google

müsse zu allen Zeiten die mittlere Meerestiefe mehr als 2640 m betragen haben, weil nach Abtragung der heutigen Erdoberfläche auf das mittlere Krustenniveau (vgl. S. 44) das jetzt vorhandene Meerwasser die Oberfläche des Erdballes 2640 m hoch bedecken kann. Es war also bei dem nachgewiesenen Vorhandensein von Landflächen in allen Zeitaltern die mittlere Meerestiefe stets abyssisch. Nun wissen wir ja, daß weitaus die größte Mehrzahl aller vorweltlichen marinen Sedimente auf unseren Ländern in ganz seichten Meeren abgesetzt wurde, und so müssen also notwendigerweise stets im Bereich der heutigen Ozeane Tiefen ähnlich den jetzigen abyssischen bestanden haben. Die seit paläozoischer Zeit nicht untergetauchten Gebiete haben schätzungsweise einen Flächeninhalt von mindestens 26000000 qkm = $^1/_{20}$ der Erdoberfläche, und daraus errechnet sich durch eine einfache Gleichung unter Voraussetzung der jetzigen Meerwassermenge und des jetzigen Erdumfanges für das Mesozoikum eine mittlere Meerestiefe von — 2,83 km Minimum. Nimmt man weiter für alles übrige, heute freiliegende Land zu mesozoischer Zeit eine Überflutung an, die aber gewiß auch in Zeiten größter Transgression nicht stattfand, und setzt man für diese epikontinentale Meeresmasse selbst 1000 m durchschnittliche Tiefe an, was aber unter allen Umständen zu viel ist, dann ergibt sich nach Pencks Berechnung für die jetzigen ozeanischen Regionen zu mesozoischer Zeit eine mittlere Meerestiefe von 3,26 km. Stellt man sich mit Penck weiterhin auf den Standpunkt, daß sich durch Kontraktion der Erdradius seit Beginn des Paläozoikums um 10% vermindert (= Erdumfangminderung von 4000 km) und daß sich durch vulkanische Exhalationen das Wasserquantum ebenfalls um 10% vermehrt habe, womit man die Beträge aber stark überschätzt hat, dann bleibt immer noch für den Beginn des Paläozoikums eine die ganze Erde umfassende Wasserhülle von 1800 m Tiefe, die aber durch die mittlere Tiefe des Meeres noch übertroffen wurde.

Zu einem genau entgegengesetzten Resultat, wie Wallace, kommt Suess[1]). Jene auch von Penck in der obigen Berechnung nur hypostasierte Panthalassa hat nach Suess ursprünglich wirklich bestanden; die Entwicklung der lungenatmenden Landbewohner aus Marinformen und gewisse biologische Eigenschaften ältester Meerfaunen gäben uns hierfür Anhaltspunkte. Einsinkung von Krustenteilen und in deren Gefolge Faltung seien die einzigen Bewegungen der Erdkruste gewesen, und erst durch die Einbrüche seien die Meere im Laufe der Zeit individualisiert worden. Dabei habe sich der allgemeine Meeresspiegel gesenkt und die Kontinentalmassen seien „aufgetaucht“, aber nicht absolut, sondern relativ, sie sind stehen gebliebene Horste. Wir wissen aus der Verbreitung von Festlandsbildungen, wie dem Old red-Sandstein u. a., daß Landmassen sich ausbreiteten, wo heute Ozeane sind und wir sind imstande, quer über den atlantischen Ozean die spätmesozoisch-alttertiäre Küstenlinie herüber zu verfolgen. Wir erkennen aus der ungeheueren pelagischen Sedimentserie in den eurasiatischen Gebirgen, daß eine tiefe Meeresabsenkung, die Tethys des Mesozoikums, heute ein Landgebiet ist. Es läßt sich durch nichts erweisen, daß alle großen ozeanischen Becken von jeher mit Wasser bedeckt

1) Suess, E., Are great ocean depths permanent. Nat. Science, Vol. II, London 1893, S. 180—187.

waren. Trinidad[1]) besitzt durchweg südamerikanische Flußfische; auch andere Inseln, obwohl durch Tiefen von einigen 1000 m von einem Festlande getrennt, können dennoch viele Land- und Süßwassertiere besitzen, die mit jenen des Festlandes identisch sind. Solche Inseln können nicht aus dem Meere emporgehoben, sondern die trennende Tiefe muß durch Senkung entstanden sein; sie sind daher Horste „und die von Wallace vertretene Ansicht von der Permanenz der ozeanischen Becken ist schon aus diesem Grunde nicht aufrecht zu halten.“ Es gibt also, wie man sieht, ein ziemlich schroffes Für und Wider.

Willis sagt in seiner schon zitierten Abhandlung über die Prinzipien der Paläogeographie[2]), daß es eine gerade unter den europäischen Geologen viel diskutierte Frage sei, ob die großen ozeanischen Senken permanent existiert hätten oder ob sie abgesunkene Festlandskomplexe seien. Er bekennt sich dann zu der strikten Auffassung: „The evidence that the hollows have constantly existed is strong ... The great ocean basins are permanent features of the earth's surface and they have existed, where they now are, with moderate changes of outline, since the waters first gathered.“ Zur Begründung dieses Satzes führt er an, daß die Kontinente nachgewiesenermaßen niemals bis in Tiefseeregionen abgesenkt worden sind, wofür ja das Fehlen jeglicher zweifelloser abyssischer Sedimente spricht, wie wir oben schon angaben; infolgedessen, meint Willis, könnten auch unmöglich abyssische Senken an ihre Stelle getreten sein. Willis schlägt auch einen ganz ähnlichen Gedankengang wie vor ihm Penck ein, indem er sagt: Wenn wir einen früher in den Atlantischen Ozean hinaus südostwärts verlängerten amerikanischen Kontinent annehmen (Appalachia), oder einen transatlantischen Landzusammenhang zwischen Afrika und Südamerika, oder ein Gondwanaland von Südafrika nach Australien, so müssen wir zugleich auch einen Platz anzugeben wissen, wo die jetzt in jenen Arealen vorhandenen mächtigen Wassermassen blieben. Denn die jetzigen Ozeanbecken sind voll bis zum Rande und sogar für die Menge des Wassers nicht groß genug, was aus der Tatsache erhelle, daß sie ja auch noch die Schelfe der Kontinente überschwemmen. In verschiedenen Zeiten waren aus irgend welchen Gründen auch tatsächlich die Becken zu klein geworden und größere Transgressionen stellten sich ein, die dann später wieder zurückgingen; aber mehr lasse sich auch nicht nachweisen. Wolle man die durch Existenz jener Kontinentalmassen notwendigen Verlegungen der vorhandenen Wassermassen aber in damals existierenden Epikontinentalmeeren suchen, so überschätze man deren Ausdehnung und Tiefe. Die ozeanischen Becken, meint Willis weiter, besaßen stets ein solches Fassungsvermögen, daß sie weitaus die größte Menge alles vorhandenen Wassers aufnahmen, das nachgewiesenermaßen nur teilweise da und dort als seichte Epikontinentalmeerbildung auf die Kontinente übertrat. Infolgedessen könne also kein großer Teil der jetzigen Ozeanbecken von Land eingenommen gewesen sein.

Es bestehe aber bekanntlich auch eine unmittelbare Beziehung zwischen Volumen und Dichte der Oberflächengebilde. Fände bei

1) Suess, E., Das Antlitz der Erde, Bd. III, 2, Wien 1909. S. 740/741.
2) Willis, B., Principles of palaeogeography. Science, Vol. XXXI, n. ser., New York 1910, S. 259.

Digitized by Google

diesem Zustande eine Umsetzung von Kontinent in Tiefsee statt und umgekehrt, so würde das wegen des Dichteausgleiches eine ganz enorme Materialumsetzung im Erdkörper erfordern, und hierfür gibt es weder einen Nachweis, noch eine Erklärung[1]). Hätte ein Kontinent dort jemals existiert, wo jetzt ein ozeanisches Becken liegt, so würde dessen Absenkung zu ozeanischer Tiefe eine solche Disturbation auf der Erdoberfläche angerichtet haben, daß man in der Erdgeschichte Spuren davon finden müßte. Die mittlere Tiefe von $^2/_3$ der Ozeanbassins, zwischen Kontinentalplateaus eingeschoben, betrage 4000 m und mehr. Bei dieser Höhendifferenz müßte die Schwere eines jeden Kontinentalblockes ihre Basis zerquetschen, sich mehr und mehr in die Breite schieben und senken, wenn nicht der bekannte isostatische Ausgleich (Massendefekt in dem Kontinentalklotz, Massenüberschuß unter dem Ozean) vorhanden wäre. Eine Zunahme der Tiefe könne aber bei den jetzigen isostatischen Zuständen nicht stattfinden, ohne gleichzeitige Ausdehnung und Erniedrigung der Kontinentalplateaus.

Ich hoffe, Willis Argumentation dem Sinne nach richtig wiedergegeben zu haben, und ich muß gestehen, daß man von seinen für die Permanenz ins Feld geführten Gründen vor allem einen für besonders ausschlaggebend ansehen kann, nämlich den, daß für die an Stelle des Gondwana- und des brasilo-afrikanischen Kontinentes gelegenen Wassermassen für die früheren Zeiten ein entsprechendes anderes gleichwertiges Becken gefunden werden müsse. Nach der vom Berliner Institut für Meereskunde durch Dr. M. Groll herausgegebenen Meerestiefenkarte finden wir an Stelle jener früheren, doch von allen Geologen anerkannten Kontinentalmassen sehr tiefe Absenkungen, aber auch auf der nördlichen Halbkugel ist ein großer Kontinent, der nordatlantische, vorhanden gewesen, also kein ozeanisches Becken, das die an Stelle der Südkontinente heute befindlichen Wassermassen hätte beherbergen können. Die sonstigen Meere der Nordhalbkugel im Paläozoikum und in der ersten Hälfte des Mesozoikums sind flache Epikontinentalbecken gewesen, die keine Tiefseeablagerungen hinterlassen haben, also ebenfalls nicht für Aufnahme der durch die Südkontinente verdrängten Wassermassen in Betracht kommen können. Es bliebe nur das Südpolargebiet übrig, wo heute eine Landmasse liegt und das damals großenteils wohl ein freies Meer bedeckte. Aber das in Betracht kommende Areal ist doch zu klein, um jene Wassermassen aufnehmen zu können und so scheint man in der Tat ohne Bejahung der Permanenz nicht auszukommen.

Man muß aber bedenken, daß die Annahme einer Permanenz der Tiefseebecken auch keine Lösung des Problems bringt. Denn jene Kontinente haben ja, wie man allgemein annimmt, an Stellen

1) Unverständlich ist mir ein weiteres von Willis für seine Meinung von der Permanenz angeführtes Argument: „The evidence is clear and unquestioned that marine waters have circulated and marine faunas have migrated from epicontinental seas of the eastern or western hemisphere to those of the other hemisphere, and they could only have done so across or around hodies of water occupying the sites of the present oceans.“ Es würde dafür ja ein schmaler Kanal (z. B. die Tethys im Mesozoikum) oder ein flaches Küstenwasser genügen und dies nm so mehr, als es sich hei den hetreffenden Wanderungen um Flachseetiere handelt, für die ein permanenter Tiefenozean ein gleich unüberwindliches Hindernis hildet, wie eine Landbrücke. Larven jedoch können überall hin verschleppt werden und so scheint mir mit ohigem Argument weder gegen, noch für die Permanenz der Ozeanhecken etwas hewiesen zu sein.

existiert, wo heute Tiefsee vorhanden ist, und so bliebe nichts übrig, als das Gondwanaland und den brasilo-afrikanischen Kontinent einfach zu leugnen und die bisher stets gemachten Rekonstruktionen für Täuschung zu erklären. Wir wollen nun einmal versuchen, den Lösungsmöglichkeiten dieser Spezialfrage nachzugehen, dann werden wir zu einer neuen, die Widersprüche beseitigenden Anschauung kommen.

Die Fragestellung kann man in vier Richtungen spezialisieren:

1. Herrscht Permanenz in dem absoluten oder nahezu absoluten Sinne, daß die heutigen Kontinentalmassen, sowie die nichtkontinentalen Meeresbecken von jeher (seit kambrischer Zeit) an derselben Stelle lagen, womit auch die Tiefsee im wesentlichen an ihren jetzigen Punkten permanent geblieben wäre?

2. Waren heute von Tiefssee eingenommene Areale ehemals, wenn auch nicht ausschließlich, so doch zum größten Teile seit Ende des Algonkiums Landoberflächen, oder wenigstens seichte Flachmeere (Epikontinentalmeere)?

3. Gab es einst eine Panthalassa, und ist der Grund für ihr Verschwinden in der Differenzierung der Erdoberfläche, oder in einer unterdessen eingetretenen Verminderung des Meerwassers, oder in beidem zusammen zu erblicken?

4. Gab es nur an einzelnen Stellen seit kambrischer Zeit permanente Tiefsee und permanente Kontinentalmassen, und haben sich späterhin neue, vielleicht von da ab permanent bleibende Tiefsee und neue Kontinentalmassen entwickelt?

Man kann den ganzen Streit um die Permanenz-Nichtpermanenz auch auf die Frage konzentrieren: Wann entstand die Tiefsee? Haben wir Grund, anzunehmen, daß eine Tiefsee schon im Paläozoikum, etwa mit Beginn des Kambriums, vorhanden war, oder hat sie sich erst im Laufe der drei großen Ären zu ihrem heutigen geomorphologischen und bionomischen Charakter herausdifferenziert gegenüber den Epikontinentalmeeren? Ist sie schon seit dem Paläozoikumsanfang dagewesen, dann besteht PENCKS Rechnung[1]) zu Recht; ist sie nachweislich erst später, etwa am Ende des Mesozoikums und im Tertiär geworden, dann bleibt nur der umgekehrte Schluß übrig, daß sich das Meerwasser seit paläozoischer Zeit außerordentlich vermehrt, oder der Erdradius sich ganz außerordentlich verkürzt hat, oder daß beides zusammen statthatte. Die Fragestellung kann aber noch weiter differenziert werden. Wir wissen, daß angesehene Geologen, wie FRECH, KOKEN, SUESS den Stillen Ozean für eine Dauererscheinung seit kambrischen Tagen ansehen, den Atlantik dagegen als ein junges Becken. In bezug auf dessen Jugendlichkeit herrscht wohl Übereinstimmung, während DELAUNAY, HAUG u. a. den Pazifik auch als relativ spät entstanden nur gelten lassen wollen. Am extremsten sind die Amerikaner, bei denen nach dem Vorgang von WILLIS, SCHUCHERT und ganz früher von DANA eine geradezu absolute Auffassung des Begriffes Permanenz herrscht.

Wir wollen, um diese Fragen zu beantworten, zuerst einmal die bestimmten Tatsachen zusammenstellen, die wir hierfür haben und alle allgemeinen Erörterungen zunächst fortlassen.

1) PENCK, A., Morphologie der Erdoberfläche, Bd. I, S. 180.

Digitized by Google

1. Wir sehen einige seit kambrischer Zeit kaum oder überhaupt nichtmehr überflutete kontinentale Kerne, den kanadisch-grönländischen Schild, den fenno-skandinavischen Schild, den sinosibirischen Kern, die afrikanisch-arabische Masse und an sie anschließend das indische Gondwanaland, Ostmadagaskar, Westaustralien, den antarktischen und den brasilischen Kern (vgl. S. 157). 2. Wir kennen im Bereich der heutigen Kontinentalgebiete, mit Ausnahme der auf S. 175 ff. angeführten einwandfreien Beispiele aus jüngster geologischer Vergangenheit, kein dem heutigen homologes Tiefseesediment in den Formationsserien. 3. Wir kennen unter den Bewohnern der heutigen Tiefsee Wirbellose von höchstens mesozoischem Charakter und nur ganz jungzeitliche Fischtypen.

Es gilt, diese Tatsachen auf ihre Brauchbarkeit für das Permanenzproblem zu prüfen.

Wie in dem Abschnitt über die präkambrischen Formationen gezeigt wird, bestehen jene alten Kerne, soweit sie bisher durchforscht sind, großenteils aus metamorphosierten marinen Sedimentformationen. Diese Sedimente, deren Ablagerungstiefe sich aus ihrem petrographischen Charakter nur in den seltensten Fällen erschließen läßt, sind ihrerseits wieder nur zu einem geringeren Teile rein kalkig, also größtenteils wahrscheinlich nicht organogener, sondern detritogener Natur. Das erhellt deutlich aus den grobklastischen Sedimenten, die sich dazwischen befinden und auf Landmassen weisen, aus denen das Material herbeigeschafft wurde, oder die vom Meere durch Transgressionen heimgesucht wurden. Auch Erscheinungen, wie die algonkischen Glazialablagerungen, berichten von Festlandsarealen, und die Gebirgsfaltungen nicht minder. Für die archäische und algonkische Zeit kann also weder von einer Panthalassa, noch von einer im Areal der zu kambrischer Zeit bereits Festlandskerne bildenden präkambrischen Massive liegenden ausschließlichen Landbildung die Rede sein. Die das Material zu den ältesten uns bekannten Meeren liefernden Landregionen müssen demnach in Gebieten außerhalb derselben gelegen haben, also dort, wo in nachalgonkischer Zeit Meeresbedeckung stets oder vorübergehend vorhanden war. Mehr läßt sich über das Archäikum und Algonkium zur Zeit nicht aussagen und wir beschränken daher das Permanenzproblem vernünftigerweise auf die postalgonkische Zeit.

Was den zweiten Punkt betrifft, das Fehlen von Tiefseesedimenten heutiger Art in den vorweltlichen Formationen mit zwei ganz jungen Ausnahmen, so läßt sich daraus nicht ohne weiteres ein so eindeutiger Schluß ziehen, wie das Wallace etwa getan hat. Denn wir leben heute auf der Erde unter recht außergewöhnlichen klimatischen Bedingungen; die Wassertemperaturen und damit der Gasgehalt und die Faunenverteilung können keineswegs als Norm angesehen werden, und mithin dürften auch die heutigen Tiefseesedimente nicht den Normaltypus für solche abgeben.

Das verbreitetste Sediment der Jetztzeit ist aber der rote Tiefseeton und so entsteht die Doppelfrage: Fehlt in den unsere Festländer bedeckenden vorweltlichen Meeresablagerungen das heute verbreitetste abyssische Sediment deshalb, weil es sich früher nicht oder nur an äußerst beschränkten Stellen bildete? Oder fehlt es deshalb, weil die Tiefseeregionen permanent sind?

Digitized by Google

Philippi macht auf die merkwürdige Tatsache aufmerksam[1]), daß die Grenze zwischen Globigerinenschlamm und rotem Tiefseeton durchaus nicht überall in der gleichen Tiefe verläuft. Sie liegt im allgemeinen nördlich vom Äquator am tiefsten und steigt von da gegen die Antarktis an. So wurden im Atlantischen Ozean in fast 5700 m, im südatlantischen Teil bei 15° südl. Br. in ca. 5300 m, im mittleren Teil des Indischen Ozeans bei 4700 m und in den subantarktischen Meeren schon bei 2—3000 m völlig kalkfreie Sedimente gelotet. Man könnte sich denken, daß diese Erscheinung bedingt sei durch die Verteilung des Globigerinenplanktons, daß also dort, wo es reichlich an der Oberfläche erscheint, auch in der Tiefe der Globigerinenschlick vorherrsche. Aber die Resultate der Planktonforschung widersprechen dieser Annahme, da im subantarktischen Meere sehr reiche kalkabscheidende Faunen nachgewiesen wurden und trotzdem dort, wie soeben bemerkt, schon in relativ geringer Tiefe der rote Ton herrscht. Philippi glaubt nun, daß die Erklärung in der mit den Temperaturverhältnissen zusammenhängenden chemischen Beschaffenheit des Tiefenwassers liegt. Vom Nordpolarmeer dringt nur sehr wenig kaltes Wasser in die südlicher gelegene Tiefsee vor, weil submarine Barren das Nordpolarmeer vom übrigen Tiefseegebiet trennen. Dagegen kann das antarktische Polarwasser langsam nordwärts in wärmere Regionen vordringen, es erwärmt sich dabei mehr und mehr und verliert im selben Maße seinen ursprünglichen Sauerstoffgehalt. Der Sauerstoff wird verbraucht durch die Zersetzung des Organischen, aber auch durch die Oxydation von Eisen und Mangan. Dabei wird Kohlensäure produziert. Das sauerstoffärmere Wasser der der Antarktis mehr entfernteren Gebiete kann aber einem reichen Organismenleben nicht mehr die nötigen Lebensbedingungen bieten und nicht mehr im selben Maße aus organischer Substanz Kohlensäure produzieren. Es nimmt daher der Kohlensäuregehalt des Tiefenwassers mit wachsender Entfernung von der Antarktis ab und damit seine Lösungskraft für kohlensauren Kalk. Wo also das Tiefseewasser noch sehr kalt ist, wird es infolge der geschilderten Zusammenhänge eine hohe Lösungskraft für Kalkorganismenschalen betätigen und so „würde sich ungezwungen erklären, daß der Kalk der Planktonorganismen in den subantarktischen Meeren schon bei geringen Tiefen völlig aufgelöst wird, während in niedrigen Breiten und besonders nördlich vom Äquator sich in sehr bedeutender Tiefe noch kalkreiche Ablagerungen bilden können".

Erscheint so, wie Philippi sagt, der rote Tiefseeton als ein Sediment, dessen Entstehung von kaltem Tiefenwasser mindestens sehr begünstigt ist, dann hat er unter Umständen vereiste Pole geradezu zur Voraussetzung. Ein Beweis für das letztere mag in folgendem erblickt werden; die Tiefseelotungen haben zu dem Ergebnis geführt, daß zu der Zeit, als sich die unter den heutigen oberflächlichen Lagen vorhandenen Tiefseesedimente gebildet haben (also wohl im Diluvium), der kalkige Globigerinenschlamm weniger verbreitet war als der rote Ton, der kieselige Diatomeenschlamm und Glazialsedimente.

---

1) Philippi, E., Über das Problem der Schichtung und über Schichtbildung am Boden der heutigen Meere. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 60, 1908, S. 352 bis 360.

— Über Schichtbildung am Boden der heutigen und vorweltlichen Meere. Intern. Revue ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., Bd. II, Leipzig 1909, S. 1—9.

Wir brauchen aus diesem, für die Beurteilung vorweltlicher Sedimente höchst wichtigen Ergebnis nur an Hand der allgemeinen Kenntnis über vorweltliche Klimabeschaffenheit die Konsequenzen zu ziehen, um zu erkennen, daß bei den fast stets günstigeren Temperaturverhältnissen auf Erden früher die Bildung von roten Tiefseetonen vielfach — ja vielleicht stets unmöglich war und daß somit das Fehlen dieses abyssischen Sedimentes in der Serie der Formationen an und für sich kein Beweis für die Permanenz der abyssischen Gebiete sein kann.

Immerhin muß man im Auge behalten, daß damit nur die Abwesenheit des roten Tiefseetones, nicht die der typischen Globigerinenschlicke erklärt ist. Sie hätten auch in durchweg warmen Zeiten, in denen die Temperaturgegensätze der einzelnen Breiten auf's äußerst mögliche Maß ausgeglichen waren, in Massen planktonisch herumtreiben und zu Boden sinken und, wenn große Tiefen zu Festland geworden wären, auch in den Sedimentärschichten der jetzigen Länder erscheinen können, zumal das Globigerinenplankton gerade an warmes Wasser gebunden ist. Dasselbe dürfte vom Radiolarienschlick gelten, der zu seiner Entstehung keiner besonderen Wärme bedarf.

Nun könnte es an sich sein, daß wir in den vorweltlichen Sedimenten (abgesehen von den schon aufgezählten abyssischen der jüngsten geologischen Vergangenheit) sehr viele Tiefseeablagerungen, d. h. solche, die bereits jenseits des Kontinentalsockels sich bildeten, besitzen, nur sind sie als solche schwer erkennbar, weil sie nicht mit den heutigen übereinstimmen, oder weil eben die Sedimentpetrographie noch so im Argen liegt. Im Kap. VII werden die von Gümbel beschriebenen Coccolithen führenden Bildungen aus dem Alttertiär der Voralpenzone schon als vermutliche Tiefseebildungen gekennzeichnet, und Steinmann ist ja nach dem Vorgang von Neumayr u. a. für die Tiefseenatur der alpinen oberjurassischen Radiolarite eingetreten. Es wäre ferner denkbar, daß zufällig die Tiefseeregionen früherer Zeiten stets in einer gewissen Landnähe lagen, daß viel terrigenes Material bzw. Kalk- und Tonschlamm in die abyssischen Areale geriet und daß darum der den heutigen entsprechende rein organogene Schlick vermischt wurde mit andersartigem Material und deshalb ein anderes Aussehen als die heutigen Foraminiferen- und Radiolarienschlicke erhielt. Wenn man das annimmt, könnte man mit Steinmann auch die oberkretazischen Couches rouges der Nordalpen als Tiefseebildungen im eigentlichen Sinne betrachten, die ja stellenweise voller Foraminiferen, auch Tiefseeformen, sind[1]) und doch gelegentlich wieder kleine Austern und Inoceramen führen, also, wenn man will, ein weniger reines Analogon zur Rügener Kreide bilden. Auch gewisse Flyschbildungen, zum Teil voller Foraminiferen, die Flysch-Kieselkalke, dann die schon oft als Tiefseebildungen angesprochenen paläozoischen Kieselschiefer, der unterkambrische blaue Ton, die Graptolithenschiefer könnten vielleicht doch richtige extrakontinentale Tiefseebildungen sein, deren Unähnlichkeit mit den heutigen auf zwei Gründe zurückführbar wäre: 1. auf die Landnähe der betreffenden Tiefseeareale und ihre damit im Zusammenhang stehende detritische Beeinflussung von seiten des Landes und 2. die gegen heute veränderten klimatisch-hydrologischen Be-

1) Egger, J. G., Foraminiferen der Seewener Kreideschichten. Sitz.-Ber. d. Königl. Bayer. Akad. d. Wiss. (math.-phys. Kl.), München 1909, S. 1—52. (Mit Tafeln.)

Digitized by Google

dingungen des ozeanischen Wassers, durch welche weder roter Tiefseeton sich bilden, noch eine biologisch-faunistische Identität mit der jetzigen Planktonwelt und Tiefseefauna bestehen konnte.

Daß das geomorphologische Verhältnis zwischen Tiefsee und Kontinentalgebiet bei der Bildung von „Tiefseeablagerungen" sehr ins Gewicht fällt, zeigt eine Beobachtung Dreyers über die Tripelablagerungen Siziliens[1]), die geradezu den Habitus von Tiefseeradiolarienschlick äußerlich haben, deren genaue faunistische Analyse aber zeigt, daß sie in höchstens 1—200 Faden Tiefe abgelagert wurden, und zwar „nicht allzuweit von der Küste entfernt, wahrscheinlich in ruhigen Meerbusen in der Nähe von Flußmündungen", während sie von anderer Seite für Tiefseebildungen gehalten wurden.

Man sieht also, daß die Frage nach den vorweltlichen Tiefseebildungen in der Reihe der Formationen noch keineswegs einer klaren Beantwortung entgegengereift ist, und was wir sicher wissen, ist nur, daß wir an einigen, im Kap. VII aufgezählten Stellen der Erde ganz junge echte Tiefseebildungen von heutigem Charakter haben. Besehen wir uns die Lage der betreffenden Vorkommen, so finden wir in ihrer unmittelbaren Nähe einen raschen Abfall zu 4—5000 m Tiefe, während sie selbst jetzt auf dem Kontinentalschelf liegen. Es kann also gar kein Zweifel sein, daß in jüngster geologischer Zeit abyssische Sedimente auf salischem Boden gelegentlich abgelagert und dann teilweise mit einer, geologisch gesprochen, sehr großen Schnelligkeit emporgehoben werden. Profile, die Guppy[2]) uns gibt, zeigen das auf's deutlichste.

Einen öfteren Wechsel scheint Trinidad durchgemacht zu haben, wie aus dem von Guppy zusammengestellten Profil hervorgeht:

Miocän:	Radiolarien-Schichten	Tiefsee-Absätze.
Eocän:	Globigerinen- und Nodosarien-Schichten	
	Nucula-Schichten	
	Orbitoides- und Amphistegina-Schichten	Flachsee-Absätze.
	Spirorbis- und Echinolampas-Schichten	
	Mollusken-Schichten	
Kreide	Tonschichten	Tiefsee-Absätze.
	Ditrupaschicht	
	Schiefer und Konglomerat	Flachsee-Absätze.
	Kalkstein mit Molluskenschalen	
	Trigonia- und Austern-Schichten	

Guppy konstruiert für die Zeit der Ablagerung obigen Profiles eine nördliche Landzone, die den in das venezuelische Parische Gebirge sich fortsetzenden nördlichen a'ten Gebirgszug von Trinidad mitumfaßt, wie es die beifolgende Kopie seiner Karte (Fig. 29) wiedergibt.

Auch Schubert gibt nach den von Sapper mitgebrachten Gesteinsproben aus Neu-Mecklenburg ein Idealprofil[3]),

Unteroligocän: Dunkle tuffhaltige Nummuliten- und Lithothamnienkalke.
Oberoligocän: Alveolinellenkalke.
Untermiocän: Lepidocyclinenkalke.

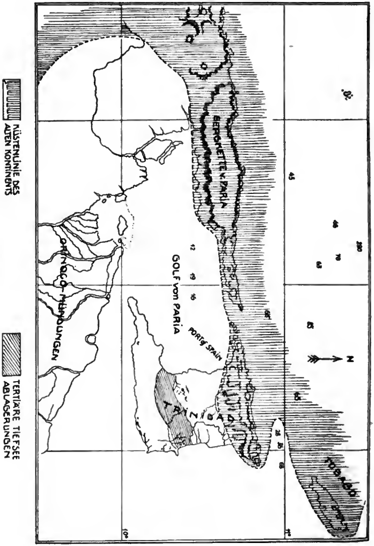
1) Dreyer, F., Die Tripoli von Caltanisetta (Steinbruch Gessolungo) auf Sizilien. Jenaische Zeitschr. f. Naturw., Bd. XXIV (N. F. Bd. 17), Jena 1890, S. 1—79.

2) Guppy, R. J. L., The tertiary microzoic formations of Trinidad, West Indies. Quart. Journ. geol. Soc., Vol. XLVIII, London 1892, S. 519—541.

3) Schubert, R., Die fossilen Foraminiferen des Bismarck-Archipels und einiger angrenzender Inseln. Abh. K. K. Geol. Reichsanst, Bd. 20, Wien 1911, S. 1—130. (M. Taf.)

Digitized by Google

Mittel?-miocän: Weiße Cycloclypeuskalke.
Obermiocän: Globigerinenkalke (z. T. mit spärlichen Lepidocyclinenresten).
Pliocän: Meist tuffhaltige, z. T. tuffreie, weiche schlämmbare, oder harte schleifbare Globigerinengesteine.
Quartär: Korallenriffbildungen ganz jungen und höheren Alters, ohne tertiäre Foraminiferen, dagegen mit jüngeren und besonders mit Lithothamnien und Siphoneen.



Figur 29.

das einen richtigen, mit allergrößten Bodenschwankungen zusammenhängenden Sedimentationszyklus verrät, und in dem wir tatsächlich aus Flachseesedimenten älterer Zeit allmählich einen Übergang zu Globigerinenschlick sehen, der dann ziemlich unmittelbar wieder Flachseebildungen trägt und jetzt zu Festland geworden ist.

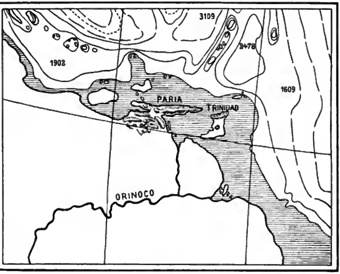
Immerhin scheinen diese Fälle Ausnahmen zu sein. Denn wenn sie es nicht wären, so müßte man entweder auf Inseln oder an Meeresküsten öfters jüngere fossile Tiefseebildungen gefunden oder sie in der Flachsee zuweilen schon als Tiefenproben gelotet haben; davon ist aber meines Wissens kein Fall bekannt. Wir kommen also zu dem Resultat, daß manche Gesichtspunkte dafür sprechen, daß gewisse urweltliche Sedimente sich in Tiefsee ablagerten, daß aber keine einzige derselben mit Sicherheit bisher im Sinne der heutigen als Tiefseeablagerung angesprochen werden konnte. Wenn wir aber andrerseits sehen, daß bestimmt in jüngster geologischer Zeit eine Auswechselung zwischen salischen Tiefseeboden und Festland stattgefunden hat, dann ist auch das Umgekehrte nicht unwahrscheinlich, und so könnte man vielleicht sagen, daß jedenfalls seit dem Pliocän die Struktur der Erdkruste einen Austausch in kleinerem Maße gestattet, was aber für frühere Zeiten noch nichts beweist, und ferner keinesfalls als Beweis eines Wechsels zwischen echt ozeanischen (d. h. aus Sima gebildetem) und kontinentalem Boden verwendet werden darf. Denn Trinidad zeigt dort, wo die jungtertiären Tiefseesedimente liegen, keineswegs etwa einen Massenüberschuß. was der Fall sein müßte, wenn echter Tiefseeboden gehoben und zu trockenem Land geworden wäre.

Es geht aus den mitgeteilten Profilen, besonders aus dem von der Insel Trinidad, noch etwas anderes hervor, was für unsere folgenden Darlegungen wichtig ist: Daß die Schelfregion kein einheitliches Gebilde ist, sondern ebenso, wie die wasserfreien Kontinentalflächen aus tektonisch verschiedenartigen Elementen besteht, denn sonst wäre es nicht möglich, daß neben der Tiefsee- und Flachseezone des Tertiärs ein Landkomplex bestand und daß beide zusammen heute der Schelfregion als heraustretender Teil — die Insel Trinidad — angehören, wie die beifolgende Karte (Fig. 30) im Vergleich zu der hergehenden (Fig. 29) zeigt; die Schelfregion ist in Fig. 30 schraffiert gezeichnet. Das alles könnte die Vermutung nahelegen, daß in früherer Zeit, vor allem im Paläo- und Mesozoikum, die geomorphologischen Hauptzüge der Kontinentalränder, nämlich der Schelf und der relativ plötzliche Kontinentalabfall, noch nicht so deutlich von einander differenziert gewesen wären, wie heute und vielleicht im Tertiär, so daß wir die aus der Jetztwelt gewonnenen Begriffe nicht in den meso- und paläozoischen Zeiten anwenden dürfen. Es ist aus diesem Zusammenhange heraus auch die Tatsache verständlich, warum es uns nicht recht gelingen will, in den vorweltlichen Ablagerungen bis ins Tertiär hinein einfache Analoga zu den heutigen Sedimenten zu finden; auch unter Berücksichtigung der Diagenese nicht. Nehmen wir nämlich an, daß sich früher die Kontinentalmassen mehr oder minder gleichmäßig absenkten, daß ein Schelf und ein Kontinentalabfall in ihrer heutigen Form nicht existierten, dann versteht es sich auch von selbst, warum landferne Tiefensedimente der Vorzeit immerzu lateral und vertikal verbunden sind mit landnahen Flachseesedimenten und warum zwischen beiden Arten ein petrographischer und faunistischer Unterschied bei weitem nicht in dem Maße besteht, wie heutzutage zwischen Flachsee-

und Tiefseebildungen. Wir begegnen uns hier mit dem oben im Kapitel V (S. 137) schon besprochenen Gedankengange Wegeners über die Entwicklung der hypsographischen Kurve.

Wir müssen demnach epikontinentale Tiefsee von Tiefsee im eigentlichen Sinne unterscheiden. Es kann offenbar gelegentlich der Kontinentalschelf in sehr große Tiefen hinabreichen und diese Art von Tiefseeboden kann dann im Zusammenhang mit Gebirgsbildung tektonisch wieder gehoben werden. Damit ist aber immer noch nicht die eigentliche Frage gelöst, um die es sich anfangs hier handelte: ob echt ozeanischer Tiefseeboden zu Festland geworden ist und umgekehrt?

Walther ist der Meinung [1]), daß sich die Tiefsee erst allmählich angelegt habe und daß der Prozeß am Ende des Karbon begann.



Figur 30.

Es ist ein allgemeiner Senkungsvorgang, der Hand in Hand ging mit Hebungen und Entstehung von Gebirgsketten. Die Versenkung der Poebene am Alpenrande, der tiefe ozeanische Graben längs des größten Teiles der südamerikanischen Anden, die indisch-bengalische Senke vor dem Himalaya, die Hebung von Schwarzwald und Vogesen im Zusammenhang mit der Versenkung des Rheintales, die Auftürmung des Libanon und die Senke des Toten Meeres sind ihm Beweise dafür, daß wir auch die erste Anlage der gewaltigen Tiefseebecken mit Gebirgsbildungsprozessen in Zusammenhang zu bringen haben. Nun zeigt uns keine Periode vor Schluß des paläozoischen Zeitalters eine so intensive Bewegung der Erdkruste, als die großartige Kettengebirgsbildungs-

1) Walther, J., Über Entstehung und Besiedelung der Tiefseebecken. Naturw. Wochenschr., N. F., Bd. 3, Jena 1904, S. 721—26.

epoche zwischen Karbon und Ende des Paläozoikums. Überall auf Erden beobachten wir ihre Wirkung. Die Komplementärbewegungen hierzu müssen in der Entstehung von Senken gesucht werden.

Verfolgen wir aber in WALTHERS eigenem Sinne nach Analogie der von ihm selbst oben angeführten Beziehungen zwischen jungen Hebungen und Senkungen den Gedanken für das Karbon und die Zeit gegen den Anfang der Trias hin, dann finden wir keine Anhaltspunkte für solche großen marinen Senken nach dem Karbon, vor allem nicht für dauernde, d. h. für solche, die von da ab als Senken permanent geblieben wären. Von solchen ist mit Sicherheit eigentlich nichts wahrzunehmen, sondern im Gegenteil: gerade die Trias, in der die Senken noch frisch und unausgeglichen vorliegen müßten, ist in den uns zugänglichen Regionen in der Nähe der alten karbonischen Faltenzüge eine geokratische Epoche erster Ordnung, der Jura zeigt uns epikontinentale Meere, wo wir hinblicken, und selbst wenn wir die alpinen oberjurassischen Regionen mit ihren Aptychenschiefern und Radiolariten als Tiefseezonen ansehen wollten, so sind sie doch in der Trias, im Lias und im Dogger teilweise sehr flach gewesen und haben auch ohnehin nichts mit der von uns gesuchten Tiefsee zu tun, da sie schon von der Kreide ab wieder zu Land wurden. Aber auch im Gebiet der heutigen Tiefsee können solche Kompensationssenken, wie sie WALTHER fordert, nicht gelegen haben, weil wir gezwungen sind, von der Trias ab noch einen nordatlantischen, einen südatlantischen, einen afriko-indischen und möglicherweise auch noch kleinere, pazifische Landmassen anzunehmen, die erst von der oberen Kreidezeit ab und im Tertiär endgültig zu zerfallen scheinen. Auf eine andere Deutung dieses letzteren Punktes, die aber gleichfalls nicht für WALTHER spricht, gehen wir noch am Schlusse dieses Abschnittes ein.

Was sagt die Paläobiologie zu dieser Frage? Der Erste, der sich mit der Permanenzfrage von dieser Seite aus beschäftigte, war ebenfalls WALTHER. Nach ihm[1]) kann die Tiefsee erst mit Beginn des Mesozoikums angelegt worden sein, weil wir in ihr nur mesozoische, aber keine oder nur verschwindend wenige paläozoische Typen (Discina, Arcidae, Dentalium, Terebratula) finden, welch' letztere auch erst mit den mesozoischen dahin eingewandert sein können. Wenn man einem Paläontologen, sagt WALTHER, die heutige Tiefseefauna gewissermaßen als Fossilien ohne Fundortsangabe vorlegte, so würde er sie ihrer ganzen Formverwandtschaft nach für mesozoisch ansprechen und die meisten mit jurassischen und kretazischen Gattungen in Beziehung bringen. Krebse, Echiniden, Crinoiden, Korallen sind Formen von jurassisch-kretazischem Gepräge, die Bildung der Tiefsee muß also mit dem Tertiär soweit fertig gewesen sein, daß die genannten mesozoischen Typen dort ihre Zuflucht gefunden haben konnten. Man könnte aber auch mit demselben Rechte dann die Anlage der Tiefsee ins Paläozoikum selbst zurückverlegen, weil ja, wie WALTHER selbst angibt, auch altpaläozoische Typen jetzt noch in ihr leben. Er will aber dieser Erscheinung keine derartige Bedeutung beigelegt wissen, „weil alle spezifischen Formen des paläozoischen Zeitalters in der Tiefsee fehlen und andrerseits viele Vertreter derselben in der heutigen Flachsee wohlbekannt sind".

1) WALTHER, J., a. a. O. S. 12ff.

Wie man sieht, läßt sich mit der Biologie in der Tiefseefrage nicht argumentieren; denn wie man will, fügen sich die Tatsachen dieser oder jener Ansicht. Denn auch das Vorkommen von mesozoischen Typen im Abyssikum ist keineswegs zwingend beweisend. Man könnte sehr gut auch annehmen, daß die heute in der Tiefsee vorhandenen kretazischen Gattungen noch lange Zeit im Tertiär in Meeresregionen außerhalb unserer heutigen Festländer im lichten Wasser lebten und erst etwa gegen Ende des Tertiär in die erst dann entstandene Tiefsee eingewandert seien. Die Fauna der Tiefsee gibt uns also keinen Aufschluß über die Entstehungszeit. Und tatsächlich kommt Abel durch die Analyse der abyssischen Fischfauna zu dem Resultat[1]), daß „die lebenden Tiefseefische ausnahmslos hochspezialisierte Vertreter von stammesgeschichtlich sehr jungen Familien darstellen". Würde man also nach der von Walther angewandten Methode verfahren und für die Wirbellosen zugleich ein tertiärzeitliches Einwandern gelten lassen, dann käme man auf Grund der Fischfauna zu einem sehr jugendlichen Alter der Tiefsee.

Abel erklärt jedoch das Fehlen altertümlicher Typen unter den Tiefseefischen durch das Eintreten der Eiszeit. Das Wasser der Tiefsee ist sehr kalt, es beträgt bei 4000 m nur noch durchschnittlich 1,8° C und zwar ist diese Temperatur wegen des Fehlens der Sonnenbestrahlung konstant. Durch das unten zuströmende Polarwasser[2]) wird dieser tiefe Temperaturgrad hervorgerufen; in den Äquatorialregionen steigt es unter Erwärmung langsam empor und fließt als warmer Strom wieder polwärts ab. Ehe die Pole vereist waren, besonders in den warmen Zeiten des mittleren Tertiär, konnte natürlich kein gleich kaltes Wasser aus der Nord- oder Südpolarregion zur Tiefe abströmen, es mußte im Mittel- und zum Teil noch im Spättertiär die Tiefsee wesentlich wärmer gewesen sein, als jetzt, und erst mit Beginn der polaren Vereisung traten die einschneidenden biologischen Milieuveränderungen ein, denen die Fischfauna der vorhergehenden Zeit zum Opfer fiel. Es fand dann eine neue Besiedelung der Tiefsee statt, und zwar hauptsächlich aus der Reihe der zirkumpolaren Fischfauna.

Abel meint, daß es auch im Paläozoikum schon Tiefseefische gegeben habe, indem er auf die von Jaekel mitgeteilten macruriformen Coccosteiden aus dem Oberdevon von Wildungen hinweist, die in Tiefen bis zu 500 m gelebt haben könnten. Natürlich ist mit solchen Formen für unsere Frage nichts anzufangen. Typen aus vermutlich gleichen Tiefen haben wir ja in der Erdgeschichte viele, es sei nur erinnert an die von Jaekel ebenfalls beschriebene feine Crinoidenfauna aus den unterdevonischen Hunsrückschiefern, an die Graptolithenschiefer des Silur, in denen sogar Radiolarien vorkommen, aber sie alle können doch nicht als Tiefseeformen in dem hier zur Erörterung stehenden Sinne angesprochen werden.

Der beste Kenner fossiler Fischfaunen, Smith Woodward, kommt nach einer Analyse der Tiefseefische zu dem Resultat[3]), daß die Besiedelung der Tiefsee mit Fischen ein allmählich verlaufender Prozeß

---

1) Abel, O., Grundzüge der Paläobiologie der Wirbeltiere, Stuttgart 1912, S. 452ff.

2) Wie S. 173 erwähnt, wird das Kaltwasser der heutigen Tiefseeregionen hauptsächlich von der Südpolarregion geliefert.

3) Smith Woodward, A., The antiquity of the deep-sea fish-fauna. Natur. Science, Vol. XII, London 1897, S. 257—260.

gewesen sei, der in der unteren Kreidezeit begann und sich bis zur Jetztzeit fortsetzte. Da immerzu neue Typen im Flachwasser entstanden, zogen sich stets einige aus diesem Konkurrenzbereich in die unwirtlichere Tiefsee zurück, und im einzelnen läßt sich angeben, wann dies geschah und welche Typen es jeweils waren.

Es ist klar, daß alle diese paläontologischen Beweise letzten Endes nichts besagen können für unser Problem, denn das Leben wandelte sich stets um, oder seine Formen starben aus. Das Entscheidende ist, ob wir an meso- und paläozoischen Fischen oder sonstigen Gruppen Adaptionsmerkmale des Tiefseelebens wahrnehmen und das ist bisher nicht der Fall.

Wägen wir jetzt alle die besprochenen Punkte gegeneinander ab. Es stehen sich zwei Tatsachengruppen schroff gegenüber, von denen die eine für das stete Vorhandensein von Tiefsee zu sprechen scheint, die andere ebenso entschieden dagegen, wie folgende Tabelle lehrt:

Für Permanenz der Tiefsee	Gegen Permanenz der Tiefsee
1. Pencks und Willis' Erörterung über die Menge des Wassers, das bei dem nachweisbaren Vorhandensein von Festlandsarealen seit kambrischer Zeit und unter Voraussetzung nicht allzugroßer Radiusverkürzung oder Wasserzunahme stets große Tiefen bedeckt haben.	1. Die Notwendigkeit, paläogeographische Landverbindungen zu konstruieren in Regionen, die heute von Tiefsee eingenommen werden.
2. Das Fehlen typischer Tiefseeschlicke in den Formationen vom Kambrium bis zum Tertiär, bzw. das Vorhandensein von nur verhältnismäßig seichten und labilen Epikontinentalmeeren während der nachalgonkischen Perioden auf den heutigen Festlandsarealen.	2. Das Auswandern von mesozoischen Typen in die Tiefsee.
	3. Die scheinbaren Ausgleiche zwischen Tiefsee und Land in der jüngsten geologischen Vergangenheit (Westindien, Polynesien, Malta) und bis zu einem gewissen Grade auch in früheren Geosynklinalgebieten.

Bei einer derartigen Zweideutigkeit des bisher vorhandenen Tatsachenmateriales und bei dem schroffen Widerspruch, in dem es unter sich steht, bleiben nur zwei Möglichkeiten einer Lösung übrig. Die eine würde in der Folgerung bestehen, daß die ozeanische Wassermenge seit dem Mesozoikum außerordentlich zugenommen, oder daß bei wesentlich sich gleichbleibender Wassermenge der Erdradius und damit der Erdumfang um einen sehr bedeutenden Betrag abgenommen habe, oder daß beides zusammen der Fall war. Für eine solche Hypothese spricht aber keine einzige Beobachtung, sie wäre keine wissenschaftliche, sondern eine reine Verlegenheitsannahme. So bleibt nach dem jetzigen Stande unseres Wissens nur noch eine andere Möglichkeit übrig, welche unsere bisherigen paläogeographischen Rekonstruktionen zugleich umwertet, d. i. die Wegener'sche Theorie der Kontinentalverschiebungen, die schon auf S. 93 ff. besprochen, aber dort noch nicht in dieser ihrer Hauptkonsequenz ausgewertet wurde. Wegener[1]) selbst hat bisher nur andeutungsweise bemerkt, daß seine Theorie auch auf die Permanenzfrage neues Licht werfe; in welcher Weise aber, hat er noch nicht ausgeführt.

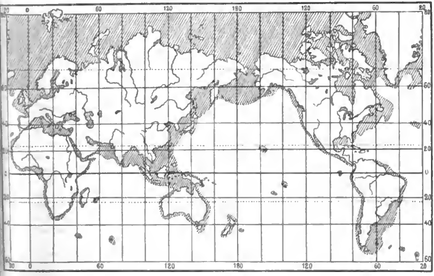
1) Wegener, A., Die Entstehung der Kontinente, a. a. O. S. 276.

Konstruieren wir uns nun auf Grund der WEGENER'schen Anschauungen eine Erdkarte, auf der Amerika dem europäisch-afrikanischen Kontinente genähert erscheint und auch Australien samt Neu-Guinea in seine vermutliche frühere Lage zurückgebracht ist; sehen wir ferner ab von den ganz untergeordneten Elementen und nehmen wir zudem an, daß bei diesem Auseinanderrücken der Kontinente immerhin Teile in die Tiefe sanken; zeichnen wir uns auf dieser Unterlage etwa die nach althergebrachter Weise nachgewiesenen jurassischen Kontinentalmassen — nordatlantischen und südatlantischen Kontinent, Lemuria und die notwendigerweise aus den stratigraphischen Verhältnissen der südamerikanischen Anden zu fordernden kleineren pazifischen Landmassen — ein, dann bekommen wir in ostwestlicher Richtung wesentlich verkürzte Nord- und Südkontinente in früherer Zeit; die Landmaßen der Nord- und Südatlantis und des Gondwana-Kontinentes rücken enge zusammen. Als Gegenstück zu dieser Landhalbkugel erhalten wir eine pazifische Wasserhalbkugel, groß genug, um alle Wassermassen aufzunehmen und geeignet, den wahren Ort der Tiefsee seit paläozoischer Zeit zu bilden. In diesem Sinne erkennen wir die Permanenz des Pazifik an, und nur die Tiefsee des Atlantik wäre dann jüngeren Datums, entstanden zugleich mit dem hauptsächlich ins Tertiär fallenden Auseinandertreten und Zerbröckeln der alten Landmassen. Wir brauchen so keine übergroßen Radiusverkürzungen, keine Zunahme der absoluten Wassermenge, und verstehen trotzdem zugleich, warum auf den heutigen Festländern keine echten Tiefseeablagerungen vorhanden zu sein brauchen. Jener Urpazifik war das abyssische Weltmeer des Paläo- und Mesozoikums, und so gewinnt auch, nebenbei bemerkt, die PICKERING'sche Mondtheorie (vgl. Kap. III S. 74 ff.) in diesem Zusammenhange ein neues Gesicht.

Aber noch ein sehr wichtiger Punkt ist zu erledigen. Der Geophysiker hat von jeher für die Bejahung der Permanenzfrage deshalb eine gewisse Neigung gezeigt, weil der Dichtegegensatz der Gesteine unter den Ozeanen und der die Kontinente zusammensetzenden Massen ein nahezu absoluter ist. Es ist doch gewiß kein Zufall, daß dieser Gegensatz im wesentlichen mit den **heutigen** Grenzen von Land und Meer zusammenfällt, und aus diesem Grunde allein schon ist es dem Geophysiker a priori nicht möglich, sich zu dem LYELL'schen Standpunkte des schrankenlosen Wechsels von Festland und Meer zu bekennen; der WALLACE'sche Permanenzstandpunkt mußte ihm richtiger erscheinen angesichts der Unvorstellbarkeit einer Überführung des dichteren in den weniger dichten Stoffzustand, die doch bei der Schärfe der Grenze immerzu durch jeden minimalen Wechsel von Festland und Ozeanboden unbedingt hätte stattfinden müssen. WEGENERS Auseinandersetzungen haben unsere Ansichten auch in diesem Punkte erfreulich geklärt, denn sie lehren uns verstehen, daß zur Lösung des Permanenzproblemes ein solcher Wechsel niemals nötig war. Wenn im Urpazifik von jeher, d. h. vom Anfang des Paläozoikums ab, das dichtere Sima freilag — abgesehen vielleicht von kleineren salischen Landmassen, die nach und nach abgetragen wurden und zerbröckelten, und wenn dort das permanente Abyssikum lag, dann ist das dichtere Material unter dem Atlantischen und Indischen Ozean durch Verschiebung der weniger dichten salischen Kontinente wie beim Öffnen eines Vorhanges später zutage getreten und das heutige Zusammenfallen des Dichteunterschiedes mit den Grenzen

von Kontinent und Ozean ist einfach erklärt. Die vorweltlichen, auf unseren heutigen Landmassen nachweisbaren Meeresbedeckungen sind vorübergehende Ingressionen; Pazifik und Kontinente sind, von den Verschiebungen abgesehen, permanent; der Atlantik und Indik sind junge Tiefen mit einem infolge der Verschiebungen zutage getretenen simatischen Boden. *Damit ist das Permanenzproblem seiner Widersprüche beraubt und im wesentlichen geklärt.*

Wenn zu Recht besteht, was wir, Wegener folgend, hinsichtlich der steten horizontalen Ausdehnungsverringerung der salischen Kruste annahmen, wenn diese niemals Zuwachs erhalten, sondern nur nach jeder Faltengebirgsbildung sich verdickt und auf engeren Raum sich zusammengezogen hat, dann ergibt sich eine äußerst wichtige Konsequenz, die wir bisher noch nicht gezogen haben, über die wir uns aber hier klar werden müssen.



Figur 31.

Simatische Krustenteile sind nie zu Kontinenten geworden, denn nirgends finden wir die Kontinente wesentlich aus Sima bestehend. Auch die jetzige Verteilung der Dichteverhältnisse über den Ozeanen und über den Kontinenten lehrt uns den sich ausschließenden Gegensatz beider Elemente. Die salische Kruste kann möglicherweise als ein geschlossener Mantel das ganze Sima bzw. die ganze Erde umgeben haben — es *kann* sein, aber es muß nicht sein., Auf alle Fälle aber kann sich das Sal nach Bildung des Steinmantels in seiner Horizontalausdehnung nur vermindert, niemals vermehrt haben. Sobald einmal die salische Kruste in einzelne getrennte Kontinentalschollen zerlegt war, mußte durch die Denudation detritisches Sal in den Tiefen der Meere auf dem Sima ausgebreitet werden und damit unwiderbringlich für den ferneren Aufbau salischer Kontinente verloren sein.

Digitized by Google

Nur was in Meere kam, die innerhalb der salischen Blöcke lagen, konnte wieder durch die Hebungen innerhalb derselben in späteren Zeitphasen trocken gelegt, zu Land wieder werden. Die marinen Schichten aller Erdzeitalter, die wir unsere Kontinente zusammensetzen sehen, können also niemals in Ozeanen mit simatischem Boden abgelagert worden sein. Die Geosynklinalen z. B., aus denen die Kettengebirge aufstiegen, sind daher niemals Ozeane mit simatischem Boden gewesen, sondern intrasalische Senken. Auch aus diesem Grunde ist es ungereimt, Geosynklinalen in heutigen Meeren mit ihrem Simaboden suchen zu wollen (vgl. S. 128).

Soweit sich also die abgetragenen Materialien vorweltlicher Länder auf salischen Schollen selbst wieder ablagerten, blieben sie dem Sal erhalten, alles Übrige ging ihm verloren. Das kann aber nicht viel gewesen sein. Denn wenn wir die beifolgende Karte (nach Murray und Lapparent) (Fig. 31) betrachten, welche uns die Verbreitung der terrigenen Sedimente zeigt — die Polarregion ist unnatürlich ins Weite verzerrt —, dann sehen wir, daß jene allergrößtenteils noch auf die submarinen Kontinentalteile zu liegen kommen, dem Sal also tatsächlich nicht verloren gehen.

Man kann annehmen, daß die salische Kruste von Anfang an niemals ganz das Sima geschlossen umspannte. Schon die Abtrennung des Mondes hat eine vollkommene Gleichmäßigkeit in dieser Beziehung verhindert. Wenn gleichwohl anfänglich der salische Überzug über dem Erdkörper ausgedehnter war, als später und heute, dann muß es in früheren Zeitaltern, z. B. im Paläozoikum auch mehr episalisches (epikontinentales) Meeresgebiet gegeben haben als heutzutage. Schon oben (S. 137) vertraten wir die Anschauung, daß der schroffe Gegensatz von Kontinentalgebiet und Tiefsee, d. h. die markante, in Fig. 8 auf S. 44 dargestellte Kurvenlinie der Krustenoberfläche sich allmählich erst herausgebildet habe; hier kommen wir durch einen anderen Gedankengang zum gleichen Resultate. Die heutige Erdoberfläche ist also ihrem ganzen Aufbau nach etwas viel schärfer Differenziertes, als sie es früher, etwa im Archäikum war, und Vergleiche zwischen Jetztwelt und ältester geologisch historischer und geologisch prähistorischer Zeit sind nur sehr bedingt berechtigt.

„Der Zusammenbruch der Erdrinde ist es, dem wir beiwohnen", hatte Suess gesagt aus der Erkenntnis heraus, daß sich die salischen Schollen in ihrem Umfange vermindert haben. Er meinte, daß entsprechend der Kontraktion der Erde die kontinentale Kruste durch Abbrüche allmählich zerstückelt, zerkleinert und von den Fluten bedeckt würde. Das letztere glauben auch wir, aber auf den Wegenerschen Vorstellungen fußend und aus ihnen die Konsequenz ziehend, sehen wir zwar das Verschwinden der Kontinentalmassen als eine erdgeschichtliche Notwendigkeit an, die jedoch für uns nichts mit einer mehr als hypothetischen Erdkontraktion zu tun hat, sondern viel eher mit einer Erdausdehnung sich vertragen würde (vgl. Kapitel V, S. 110 ff.), mindestens aber sich als ein lediglich unabhängig auf der Außenfläche des Erdballes abspielender Prozeß darstellt, einerseits hervorgerufen durch die immerwährende Denudation und Abbröckelung der salischen Schollen und die Verfrachtung ihres Materiales auf das niemals aus den Fluten auftauchende Sima, andrerseits durch die Verdickung der salischen Scholle im Gefolge von Faltengebirgsbildung mit nachfolgender Tangentialkontraktion. Nur isostatisch oder durch

Digitized by Google

thermische Einflüsse in Geosynklinaltiefen als Kettengebirgsbildung regeneriert sich dabei eine Zeit lang die Höhe der Kontinente über dem Meeresspiegel auf Kosten der Horizontalausdehnung und der Masse. Dem Verschwinden der Kontinente durch Denudation wohnen wir bei, nicht nur deren Zusammenbruch.

Wir bekennen uns also, wenn auch in ganz anderem Sinne als dies bisher geschah, zu einer Nichtpermanenz der Kontinente. Nie konnte nach Bildung des Steinmantels Sal zu Sima oder Sima zu Sal werden. Früher, in älteren geologischen Zeiten, lag weniger Sima an Meeresböden frei, weil die Kontinente ausgedehnter waren. Nach und nach wurden diese abgetragen und in ihrer Masse verringert. Was abgetragen wurde, bildete und bildet heute einen dünnen Überzug auf dem kontinentnahen Simaboden der Ozeane. Der Ozean ist und bleibt permanent. Die salischen Massen verschoben sich horizontal und frühere Kontinente zerlegten sich in heute weit getrennte Stücke.

Wir brauchen zu alledem keine Kontraktion des Erdinnern, wir brauchen dessen höchst problematische Veränderungen überhaupt nicht. Alles, was wir an geologischen Vorgängen seit dem Anfange des Archäikums uns ausdenken können und was wir positiv kennen, hat sich auf dem salischen Krustengebiet abgespielt. Dieses minimale dünne Häutchen ist der Schauplatz alles dessen, was wir als Gegenstand der historischen Geologie behandeln. Gegenüber diesen für ihn ganz unwesentlichen äußerlichen Vorgängen steht der Erdkörper als Ganzes wie unberührt da und erscheint uns so von einer Stabilität seiner Konstitution und von einer Permanenz seines Daseins, daß dagegen die aus salischen Umlagerungen abgeleitete Zeitskala der Geologie, mit Einschluß des Archäikums, als ein flüchtiger Augenblick im Dasein der Erde erscheint, genau so, wie das Zeitalter des Quartärmenschen gegenüber den Zeiträumen der historischen Geologie. Diese ist somit nicht eine Geschichte der Erde, sondern nur eine Geschichte des salischen Oberteiles der Kruste. Das aber ist eine Anschauung, die wir nicht aus der historischen Geologie schöpfen, sondern aus der Einreihung ihrer Ergebnisse in eine Erkenntnismaterie, die wir der Geophysik verdanken. Auch daraus geht hervor, daß Paläogeographie mehr ist als historische Geologie.

Digitized by Google

VII. Die Formationen und Ablagerungen als Mittel paläogeographischer Forschung.

1. Formation, Fazies, Schichtung, Überlagerung.

Wir gebrauchen das Wort Formation in der Geologie wie unser tägliches Handwerkszeug und doch dürfte es schwierig sein, eine befriedigende Definition dieses Begriffes zu geben. Es geht eben mit dem Ausdruck Formation wie mit allen naturwissenschaftlichen und ganz speziell geologischen Begriffen: sie können nie so scharf wie mathematische und logische definiert werden, und wenn dies auch im Augenblick ihrer Konzipierung einmal der Fall gewesen sein sollte, so werden sie, kaum geschaffen, alsbald dem Fortschritte des Wissens entsprechend modifiziert, Kritik und Erfahrung gestalten sie bewußt und unbewußt während des Gebrauches um.

Der Ausdruck „Formation" stammt von Füchsel, der ihn 1762 geprägt hat für eine unter gleichen Verhältnissen und unmittelbar nacheinander abgelagerte Schichtenserie. Es war also der Hauptwert auf die Petrogenese gelegt und dementsprechend würden Bildungen wie der Buntsandstein, der Muschelkalk, der Weißjura im Sinne Füchsels als Formation zu bezeichnen sein. Auch Werner legte um die Wende des 18. aufs 19. Jahrhundert dem Worte noch den petrographischen Inhalt bei und ergänzte die Definition dahin, daß gleiche Gesteine unter gleichen Umständen gebildet worden seien. Da gleiche Formationen, d. i. gleiche Gesteinsbildungen abwechselnd in verschiedenen Zeiten wiederkehren können, so faßte er solche zu Formationsreihen zusammen, die den zeitlich aufeinanderfolgenden Perioden der Erdgeschichte entsprechen sollten und schuf so die Einheiten: Urgebirge, Übergangsgebirge, Flötzgebirge, aufgeschwemmtes Gebirge, denen er das vulkanische Gebirge als zeitlich verteiltes Element beifügte. Und da jede Spezialformation, wie Sandstein, Gips usw. in den verschiedenen „Gebirgen" vorkommen konnte, bezeichnet er sie jeweils näher als Formation des Urgips, des Flötzgips usw. Auch nach A. v. Humboldt sind Formationen „Systeme mineralischer Massen", die derart miteinander verbunden sind, daß man sie als gleichzeitig entstanden sich denken darf[1]).

Erst Conybeare und Phillips gaben um 1820 dem Begriff jenen auch paläontologischen Inhalt, den wir, wenn wir heute überhaupt

1) Zittel, K. A. v., Geschichte der Geologie u. Paläontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts, München 1899, S. 568ff. Ferner: Abschnitt „Formationen" von E. Koken, im „Handwörterbuch der Naturwissenschaften, Bd. IV, Jena 1913, S. 140 ff.

Google

noch von Formation sprechen, damit unter allen Umständen verbinden[1]). Sie taten dar, daß nur durch Fossilinhalt und Lagerung zugleich eine zeitliche Identifikation von Schichtkomplexen in verschiedenen, auch weit entfernten Ländern möglich sei und daß nicht die petrographische Gleichartigkeit das Kriterium für den Zusammenhang einer Formation abgebe. Freilich war das Wort Formation schon etwas in den Hintergrund getreten, denn in Frankreich sprach man von „Terrain", in England von „Group" und überall auch von „System"; und wenn wir heute auch noch Juraformation, Kreideformation (formation jurassique, crétacée) sagen und schreiben, so ist das ein reiner Zeitbegriff geworden und bedeutet nur in zweiter Linie die solchen Zeitbegriffen in concreto zugrundeliegenden Gesteinsserien mit ihrem Fossilinhalt. Um Klarheit zu haben, wäre es daher zweckdienlich, im ersteren Fall von Juraperiode, Kreideperiode, Jurazeit, Kreidezeit zu sprechen und nur im letzteren Fall von Juraformation, Kreideformation. KOKEN schlägt darum an der zitierten Stelle ein Schema vor, das wir aber durch einige in der Praxis bereits eingebürgerte Ausdrücke erweitern und teilweise verändern müssen.

Für die Sedimente:	Für die Zeit:	Beispiele:
Gruppe	Zeitalter, Aera . .	Paläozoisches Zeitalter
Formation, System, Terrain . .	Periode, Epoche, Zeit	Juraperiode, Jurazeit
Abteilung, Stockwerk, Serie . .	Zeit	Liaszeit
Stufe, Etage	{Zone, ...	Productuszone
Unterstufe, Sousétage	{Horizont	Tennilobatenhorizont

Daß man zu keinem Alle befriedigenden Schema kommt, liegt eben vor allem an der Unmöglichkeit, die einzelnen geologischen Perioden scharf voneinander abzugrenzen und einen Begriff von ihrer Zeitdauer zu bekommen. Wir nennen im einen Falle Stufe, was wir im anderen Unterstufe oder Horizont nennen und wir wissen heute noch nicht mit Bestimmtheit, ob etwa das tertiäre Zeitalter länger oder kürzer war als etwa die silurische Epoche, ja wir haben nach der Mächtigkeit der Ablagerungen und dem Grade der Umwandlung des marinen Tierlebens allen Grund, anzunehmen, daß es ein schreiendes Mißverhältnis ist, dieses als Unterabteilung, jenes als Hauptabteilung zu klassifizieren. Solange uns also hier alle brauchbaren Zeitvorstellungen mangeln, kann nur von konventionellen Begriffsanwendungen die Rede sein und man sieht hieran, wie wünschenswert es wäre, auf dem im folgenden Kapitel bezeichneten Wege zu exakteren Zeiteinteilungen zu gelangen.

1) Trotzdem hat sich ein Rest jener alten Denkweise noch erhalten, nämlich dort, wo bestimmte petrographisch einheitliche, aber zeitlich und paläontologisch in sich verschiedene Gesteinskomplexe als tektonische Einheiten wirken. So sprechen wir in der Alpengeologie von Hallstädterkalk oder Dachsteinkalk, obwohl beide die mittlere und obere Trias vertreten, die sonst außerordentlich abwechselungsreich entwickelt ist. Aber hierbei gilt ein solcher Formationsbegriff, wie gesagt, nur tektonisch, weil sich derartige mächtige einheitliche Kalkmassen bei der Gebirgsbildung mechanisch ganz anders verhielten, als weichere oder in ihrer Zusammensetzung vielfach wechselnde Schichten.

Digitized by Google

An jeder Schicht und Gesteinsbildung — mit nur ganz wenigen Ausnahmen — sind Organismen in größerem und geringerem Maße aktiv oder passiv beteiligt und bis ins Archaikum hinein beteiligt gewesen. Die durch Gesteinscharakter und Fossilinhalt der Schichten repräsentierten Verhältnisse bezeichnen wir mit dem Ausdruck „Fazies". Wenn man von Fazies schlechthin spricht, so ist darunter stets Gestein und Fossilinhalt zusammen zu verstehen; meint man indessen nur das eine oder nur das andere, so muß man das genauer angeben und sagen: petrographische Fazies, faunistische Fazies. Es können sich zu gleicher Zeit an verschiedenen Orten gleiche oder verschiedene Fazies entwickeln, wie auch zu verschiedenen Zeiten am gleichen Orte gleiche oder verschiedene Fazies aufeinanderfolgen können. Gleich alte Ablagerungen von verschiedenem Faziescharakter nennt MOJSISOVICS[1]) „heteropisch", gleich alte von gleicher Fazies „isopisch".

„Wo über große Flächenräume die äußeren Verhältnisse sich gleich bleiben, da werden weitausgedehnte einförmige Bildungen mit konstanten Charakteren zur Ablagerung gelangen. So in den Tiefen der Ozeane und auf dem Boden großer Landseen. Wo dagegen, wie in der Nähe von Küsten, Inseln, Atolls und im Bereiche sich kreuzender Strömungen der häufige und rasche Wechsel der äußeren Verhältnisse eine Mannigfaltigkeit von Existenzbedingungen schafft, da werden auf engem Raume nebeneinander die größten Gegensätze in lithologischer und biologischer Beziehung entstehen." So gibt HAAS an[2]), daß eine südalpine Liastufe, das sogenannte Domeriano, nach den Angaben von BONARELLI auf einem verhältnismäßig kleinen Raume der lombardischen Voralpen und der angrenzenden Gebiete in nicht weniger als 18 verschiedenen Ausbildungsformen nachgewiesen ist, wobei allerdings die Möglichkeit nicht in Betracht gezogen wurde, daß durch die alpinen Überschiebungen und Deckenüberfaltungen ursprünglich weiter auseinandergelegene Vorkommen in größere Nähe zusammengerückt worden sein könnten und worauf das Abstoßen einzelner Fazies an tektonischen Linien auch hindeutet.

Zum erstenmal führte wohl GRESSLY den Ausdruck und den Begriff Fazies ein[3]). In einer Monographie des Solothurner Jura bemerkte er den in horizontaler Richtung sich vollziehenden Wechsel im Gesteinscharakter ein und derselben Zeitstufe, mit dem sich gleichzeitig auch ein Faunenwechsel einstellte; umgekehrt bemerkte er, daß gleichartige Gesteinsentwicklung in zeitlich verschiedenen Stufen zu einer auffallenden Ähnlichkeit der verschieden alten, darin eingeschlossenen fossilen Faunen führte und er unterschied dementsprechend eine Schlamm-, Korallen-, Spongienfazies usw. So ist ja seit langem bekannt, daß jene Weißjuraausbildung, welche die Engländer Coralrag die Franzosen Corallien nannten, genau ebenso wie die oberjurassischen Schwammriffe sich nicht an ein bestimmtes stratigraphisches Niveau halten, sondern bald in tieferen, bald in höheren Horizonten auftreten, woher der QUENSTEDT'sche Ausdruck „verschwammtes

1) MOJSISOVICS, E. v., Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien, Wien 1879, S. 6.

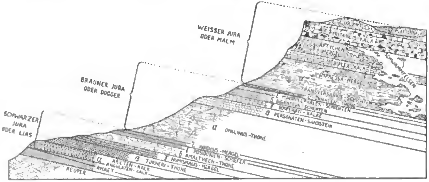
2) HAAS, O., Die Fauna des mittleren Lias von Ballino in Südtirol. Beitr. z. Geol. u. Paläontol. Österr-Ung. u. d. Orients, Bd. XXVI, Wien 1913, S. 148 ff.

3) GRESSLY, A., Observations géologiques sur le Jura Soleurois. Extrait des Nouv. Mém. Soc. Helvét. Sciences natur, Tome II, IV et V. Genf 1838—1841. (349 S. und viele Tafeln.)

Gamma" (= in Schwammfazies entwickelter weißer Jura γ) kommt, Verhältnisse, die GRESSLY richtig erkannt hatte. Die nebenstehende Fig. 32 zeigt nach ENCEL diesen Faziesweehsel im oberen Jura im Gegensatz zu den tieferen Jurastufen des Dogger und Lias, die in gleicher Weise übereinandergeschichtet sind.

Gegenüber der Schichtung, von der sogleich die Rede sein soll, und die man als raschen und gleichsinnig wiederholten Fazieswechsel in der Vertikalen definieren könnte, ist der petrographische Fazieswechsel ein in horizontaler oder vertikaler Richtung nicht regelmäßig alternierender Materialwechsel, den man gelegentlich auch auf eine linsenförmige Einlagerung beschränkt finden, ihn aber dann als diese, nicht mehr als Fazieswechsel bezeichnen wird.

Alle Ablagerungen, die wir aus der Jetztwelt oder Vorzeit kennen, zerfallen naturgemäß in zwei Hauptgruppen, nämlich Land- und Meeresablagerungen. Ablagerungen aus dem gleichen Bildungsmedium nennt MOJSISOVICS[1]) „isomesische", aus verschiedenen Bildungsmedien



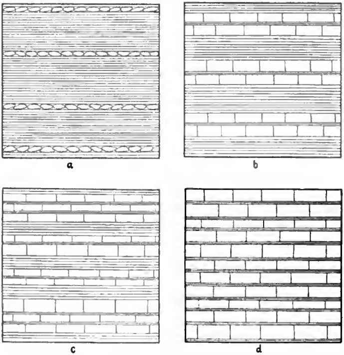
Figur 32.

„heteromesische". Innerhalb der gleichen Bildungsmedien gibt es verschiedenartige Bildungsräume, die unter verschiedenen klimatischen oder tier- bzw. pflanzengeographischen Bedingungen stehen und je nach deren Gleichheit oder Verschiedenheit unterscheidet er weiter „isotopische" und „heterotopische" Ablagerungen. „Ebenso wie sich zu gleicher Zeit und nebeneinander im selben Raume verschiedenartige Fazies bilden, erscheinen in verschiedenen Räumen (Provinzen) und zu verschiedenen Zeiten gleichartige Fazies." Die ersteren nennt er „heteropische", die letzteren „isopische" Bildungen, wie oben schon erwähnt wurde.

Die meisten Sedimentärgesteine zeigen eine Schichtung und zwar gibt sich diese im allgemeinen dadurch kund, daß ein Wechsel von härterem und weicherem Gestein plötzlich eintritt und daß beide scharf gegeneinander abgesetzt sind. Entweder sind beide Gesteinsarten gleich oder nahezu gleich mächtig oder die eine, gewöhnlich die weichere, tritt als stark reduzierte Zwischenlage, ja nur als dünner Belag auf den härteren auf. Letzteres, die einfache Bankung, welche

1) MOJSISOVICS, E. v., a. a. O. S. 6—7.

in Schema d der Fig. 33 zu sehen ist, kann zuweilen in ihrer Genesis an vertikal ausgedehnten Profilen verfolgt werden. So besteht nach POMPECKJ in Württemberg der untere Malm (die Impressatone des α), aus verhältnismäßig mächtigen Tonlagen, in denen nur vereinzelte Kalkbänke eingeschaltet sind. Zuweilen treten, wenn auch nicht bei diesem soeben genannten Vorkommen, in derartigen Tonen nur vereinzelte Kalklinsen, fast konkretionsartig, auf und reichern sich dann zu Kalkbänken, wie die des Malm α in Württemberg an. Allmählich folgen die Kalkbänke in etwas engeren Zwischenräumen aufeinander, die ehemals mächtigen Tonlagen werden auf Kosten der



Figur 33.

Kalke verdrängt und je mehr dies geschieht, umso mehr nähert sich die Schichtung der reinen Bankung; und schließlich findet man diese allein vor (Malm β in Württemberg), die Tonlagen sind auf ein dünnes, oft kaum wahrnehmbares, zwischen den Bänken liegendes und die Fugen bildendes Häutchen reduziert. Die nebenstehende Fig. 33 gibt schematisch diese Veränderungen wieder.

Diese Schichtung ist wohl zu unterscheiden von einem Gesteinswechsel bzw. einem petrographischen Fazieswechsel in der Vertikalen. Es kann ein Sandstein allmählich von unten nach oben konglomeratig werden unter allmählicher Anreicherung mit gröberem Material. Es kann ein Kieselkalk allmählich unter Abstoßung des Kalkes in einen

Google

Sandstein oder Quarzit übergehen; dann spricht man nicht mehr von Schichtung. Zum Begriff Schichtung gehört sowohl die Plötzlichkeit, als auch die häufigere Wiederkehr des Gesteinswechsels, der sich meistens als Schichtfuge darstellt und eine Abhebung der härteren Bänke in Form von Platten ermöglicht.

Die Entstehung von Ablagerungen und damit auch von Schichtung und Fazieswechsel ist von einer Kette der allerverschiedenartigsten Faktoren bedingt. Zunächst vom Material und von den materialtransportierenden und -absetzenden Kräften, also Flüssen, Gletschern, Wind, Brandung einerseits, Schwerewirkung, Fällungskraft des Seewassers[1]) und chemischen Niederschlagsvorgängen, Austrocknung bzw. Verdunstung andererseits. Es kommt als Drittes dazu die passive Ansammlung der Organismenhartteile oder die aktive Bautätigkeit der kalk- und kieselskeletteabsondernden Tiere, seltener Pflanzen. Wir sehen ab von dem weniger wichtigen Fall der kosmischen Materiallieferung. Alle diese Faktoren wirken bei der Sedimentbildung zusammen, bald die einen mehr, bald weniger, und solange in diesem Verhältnis Stabilität herrscht, bleibt der Charakter, die Fazies des sich bildenden Gesteins gewahrt, es kommt auch eine Schichtung nicht zustande. Ändert sich das Verhältnis auch nur eines dieser Faktoren zu den anderen, so hat das unweigerlich eine Änderung des Sedimentcharakters in dem von den Wirkungen jener Zustände direkt oder indirekt berührten Gebiete zur Folge. Eine langsame Änderung bedingt einen Fazieswechsel, rasche Änderung einen Schichtwechsel. Periodische Änderung und Wiederherstellung des vorhanden gewesenen Zustandes ruft eine periodische Schichtbildung hervor, die um so gleichmäßiger ist, je rhythmischer jene Änderungen verlaufen. Nicht berücksichtigt haben wir bisher jene endgültigen Veränderungen der Schichtbildung bzw. der Fazies, welche durch plötzliches oder allmähliches Hinzukommen von vulkanischem Material oder durch eine endgültige Abtragung gewisser Gesteinsarten auf dem Lande entstehen.

Die Sedimente und ihre petrographisch-faunistische Fazies, ihr Fazies- und ihr Schichtwechsel, dessen Regelmäßigkeit oder Unregelmäßigkeit sind daher das Mittel zur Herstellung jedes paläogeographischen Bildes, das sich auf die genannten Grundfaktoren bezieht. Man sieht schon hieraus, daß die Sedimente, entsprungen aus dem steten Zusammenarbeiten derselben, niemals eine Funktion des einen von ihnen ausschließlich sind und sein können, daß also die Rückschlüsse die wir aus Sedimenten auf paläogeographische Verhältnisse machen wollen, selten unmittelbare und eindeutige Resultate ergeben werden. Es ist darum Sache einer umsichtigen Forschung, in jedem konkreten Falle die Sedimente auf ihre Komponenten hin zu analysieren und dann abzuwägen, wie groß und welcher Art der Anteil eines der gesuchten Faktoren an der betreffenden Sedimentbildung ist.

Es gibt Schichtserien, die auf den ersten Blick kontinuierlich ausgebildet zu sein scheinen, aber dennoch Lücken erkennen lassen, wenn man sie mit gleichalterigen eines anderen Ablagerungsbeckens vergleicht. Ohne daß eine unmittelbar erkennbare Schichtungs- bzw. Lagerungsdiskordanz vorhanden wäre, felen bestimmte Glieder. Trotzdem darf man daraus keineswegs schließen, daß hier zeitweise Trocken-

1) Vgl. hierzu die Ausführungen in Krümmel, O. (Ozeanographie, Bd. I, 2. Aufl. 1907) über die Niederschlagskraft des salzigen Seewassers gegenüber dem Süßwasser.

legungen während der Ablagerungszeit erfolgt seien. Solche Fälle, auf die in der amerikanischen Literatur systematisch hingewiesen wird (WILLIS, SCHUCHERT, GRABAU) zeigen oft in scheinbarer Konkordanz Profile, die man für eine einheitliche Sedimentfolge hält, wie die beigegebene aus SCHUCHERTS „Paleogeography of North America" entnommene Abbildung (Fig. 34), obwohl dazwischen nicht nur Horizonte, sondern ganze Zeitalter fehlen können. Speziell in dem hier abgebildeten Beispiel liegt zu oberst das Unterkarbon (Lower Mississippic) auf dem durch die zwei schwarzen Horizontallinien eingerahmten unteren Mittel-Devon (Onondaga limestone) und darunter folgt, scheinbar konkordant, das Mittelsilur (Louisville). Solche nicht im gewöhnlichen Sinne diskordante, aber auch nicht normal-konkordante Überlagerungen

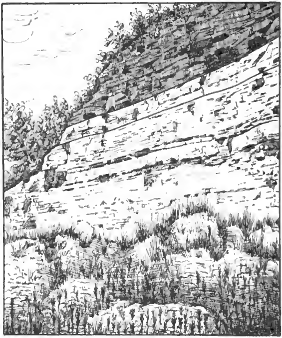


Fig. 34.

nennen die Amerikaner „unconformity", und es wäre wünschenswert, daß dieser Ausdruck sich auch bei uns einbürgerte. Die transgressive Diskordanz nennen sie „disconformity"; eine richtige Diskordanz im eigentlichen Sinne wäre dann jene, welche im unteren Teile des später (Kap. VII) abgebildeten Cañonprofiles zu sehen ist[1]).

Die Ursachen dieser Unkonformitäten in gleichsinnig gelagerten Schichtfolgen können bestehen in zeitweiligen Trockenlegungen des

1) ANDRÉE, K., Verschiedene Beiträge zur Geologie von Canada. Schrift. Ges. Beförd. ges. Naturwiss., Marburg 1914, Bd. 13, Abt. 7, S. 451.

Meeresbodens, gefolgt von keiner nennenswerten oder aber von einer sehr gleichmäßigen Erosion bzw. Abspülung eines Teiles der zuvor gebildeten Schichten. Auch Meeresströmungen können lange Zeit einen Absatz von Sedimenten verhindern, ebenso der Mangel an hereingebrachtem Material und an Tierleben. Oft kann eine Unkonformität in den Profilen nur durch einen ganz plötzlichen und unvermittelten Faunenwechsel festgestellt werden[1]).

Die Lücken in anscheinend kontinuierlichen Schichtserien teilt Andrée ein[2]) in Brandungs- und Strömungslücken, denen er später noch die Lösungslücken hinzufügt, welche drei Typen er unter dem Begriff Korrosionslücken zusammenfaßt[3]). Die Agentien, durch die sie entstehen, sind aus den Bezeichnungen unmittelbar ersichtlich. In manchen Fällen wird es schwierig sein zu entscheiden, ob eine Unkonformität, ob eine von einer dazwischen liegenden Trockenperiode bedingte Diskordanz mit erneuter Transgression, ob eine Rutschungs-, eine Strömungs- oder sonstige Korrosionslücke vorliegt. Es ist auch für ganz beschränkte Areale der Fall denkbar, daß eine Sedimentationsstufe indirekt dadurch ausfällt, daß starke Strömungen in der Nähe vorbeistreichen und alles von einem nahegelegenen Landgebiet zugeführte Material abfangen und weiter wegführen, ohne daß sie direkt eine erodierende Wirkung ausüben.

Es war bisher von marinen Ablagerungen unter Voraussetzung eines horizontalen Niederschlages der Sedimentmaterialien die Rede, und dieser wird stets eintreten, wenn das Material, sei es organisches, sei es anorganisches, unmittelbar vor seinem Niederschlag im Wasser suspendiert war. Sobald aber die Zufuhr desselben einseitig erfolgt oder sich gar von der Seite her überstürzt, werden andere Ablagerungsformen zustandekommen, die wir als Schrägablagerung und Kreuzschichtung bezeichnen. Es liegt in der Natur der Sache, daß diese, im Gegensatz zur Normalschichtung, vor allem auf dem Lande in äolischen und fluviatilen Absätzen erscheinen, ebenso am Rande der Meere, soweit dort die Ablagerungen unmittelbar terrestrisch beeinflußt sind, Grabau unterscheidet zwei Typen[4]):

a) Die zusammengesetzte Schrägablagerung (compound oblique bedding), charakterisiert durch eine Aufeinanderfolge von schiefen Lagen, alle im gleichen Sinne geneigt und getrennt durch schwache horizontale Lagen (Fig. 35). Sie ist bezeichnend für kräftige Strömungen, deren Richtung durch das Einfallen der Lagen angegeben wird. Dieser Typus kann als eine Serie übereinander gelagerter Deltas von geringer Mächtigkeit aufgefaßt werden.

b) Die nach allen Seiten gehende Kreuzschichtung (criss cross bedding). Sie hat eine stets variierende Neigung ihrer einzelnen Partien, und die aufeinanderfolgenden Serien sind nicht durch Horizontallagen getrennt, wohl aber durch Erosions- bzw. Korrosionsflächen. Es ist ein Prozeß von „cut and fill", am charakte-

1) Girty, G. H., Upper Carboniferons or Pennsylvanian. Outlines of geologic History etc. Edit. by B. Willis and R. D. Salisbury, Chicago 1910, S. 124/125.

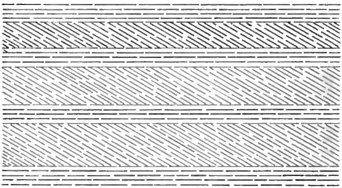
2) Andrée, K., Über stetige und unterbrochene Meeressedimentation etc.; a. a. O. S. 392 u. 408 und Probleme der Ozeanographie, a. a. O. S. 250 Anm.

3) Andrée, K., Referat über Grabaus nachfolgend zitierte Arbeit. Neues Jahrb. f. Mineral. usw., Stuttgart 1911, Bd. II, S. 266.

4) Grabau, A. W., Early paleozoic delta deposits of North America. Boll. geol. Soc. America, Vol. XXIV, New York 1912. S. 401—404.

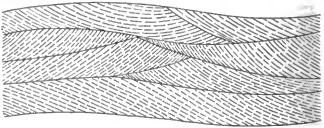
ristischsten für äolische (Wüsten-) Bildungen, auch Deltabildungen, soweit sie subaërisch vor sich gehen (Fig. 36).

Die Ablagerungsweise bzw. die Art der Übereinanderlagerung aller Sedimente kann man folgenderweise klassifizieren, wobei wir eine von GRABAU gegebene Einteilung benützen unter weitgehenden Abänderungen und Ergänzungen.



Figur 35.

A. Stationäre, regelmäßige und kontinuierliche Ablagerung bzw. Überdeckung. Es ist die marine oder lakustre Sedimentbildung, die eine einheitliche, wenn auch regelmäßig wechselnde Ablagerung, massig oder geschichtet, erzeugt, die teilweise auf S. 189/90 als Schichtung besprochen wurde. Das Ablagerungsgebiet bleibt stationär, d. h. eine Trans- und Regression des Ablagerungsmediums findet nicht statt.



Figur 36.

B. Stationäre, regelmäßige, aber diskontinuierliche Ablagerung bzw. Überdeckung. Darunter kann man eine Sedimentbildung verstehen, bei der sich das Ablagerungsareal als solches nicht verschiebt, wobei also zusammenhängende vertikale Sedimentserien entstehen, jedoch die das Sediment schaffenden Agentien sich ändern, zuweilen auslassen, dann wieder eintreten oder durch andere

Digitized by Google

ersetzt werden. Dabei wird häufig eine Abtragung des zuvor Gebildeten durch Erosion, Lösung, Verwitterung stattfinden, wenn auch nicht immer; und so kommen in marinen Serien die scheinbar konkordanten Schichtfolgen mit den dazwischen liegenden Unkonformitäten zustande, wie sie schon vorhin besprochen wurden. In terrestren Serien gehören hierher z. B. äolische Ablagerungen an ein und derselben Stelle, bei deren Entstehung der Wind ja auch in wechselnder Intensität und Richtung tätig ist.

C. Regelmäßig fortschreitende oder rückschreitende Ablagerung bzw. Überdeckung. Die Zone einer bestimmten Sedimentbildung schreitet in einer bestimmten einseitigen oder mehrseitigen Richtung fort. Darunter fällt die Transgression eines Meeres über ein Land unter Bildung eines Transgressionskonglomerates oder einer sonstigen Transgressionsablagerung, wobei zu beachten ist, daß die gleiche Bildung ein immer jüngeres Alter hat, je weiter man sich vom Ausgangspunkte der Transgression entfernt. Das Umgekehrte gilt von dem unter die gleiche Rubrik fallenden Regredieren einer Meeresbedeckung. Ferner gehört hierher die Bedeckung eines Gebietes durch fluviatile Sedimente, mögen diese sich über eine Landfläche oder in einem See oder im Meere als Deltabildung ausbreiten. Als einen Spezialfall mag man Gehängeschuttkegel und Murbrüche hierher rechnen. Auch Wanderdünen sind einzubeziehen, ebenso auch die öftere Wiederholung transgressiver äolischer Ablagerungen an ein und derselben Stelle. Das Ablagerungsmedium wandert, und daher kann sich auch im Meere durch Wanderung der Absatzbedingungen eine langsame Transgression andersartiger Schichten auf frühere einstellen. Wechselt dies periodisch hin- und rückläufig im gleichen Sinne, dann kann wohl auch die unter A besprochene normale lückenlose marine Schichtbildung zustande kommen — in der Natur lassen sich unsere systematischen Schemata nicht durchweg anwenden. Über die von Grabau noch weiter unterschiedene vereinigte Regressions- und Transgressionsüberdeckung siehe im Abschnitt 2 des Kapitels IX.

Als einen wesentlichen Gegensatz zwischen fluviatiler oder auch durch trockene Schuttkegelbildung erzeugter fortschreitender Überlagerung einerseits und der rein marinen Transgressionsbildung andrerseits kann man festhalten, daß der Rand der ersteren stets mehr oder minder radial über das Liegende übergreift und die speisende Quelle stets in der dem Fortschreiten des Randes entgegengesetzten Richtung liegt, während die marine Transgressionsaufschüttung linear fortschreiten kann und ihr Materiallieferungsgebiet dort liegt, wo sie im Moment des Übergreifens sich befindet.

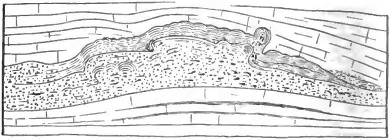
Wenn man will, kann man als eine bestimmte, wenn auch nicht sehr häufige Art der unregelmäßigen Überlagerung auch die durch subaquatische Rutschungen hervorgerufenen Schichtbilder ansehen, über die Heim eingehend berichtet und von denen er auch fossile Beispiele anführt. Hahn hat ein derartiges Beispiel aus dem Silur von Nordamerika beschrieben[2]), Reis aus dem deutschen Muschelkalk. Die neben-

1) Grabau, A. W., Types of sedimentary overlap. Bull. geol. Soc. America., Vol. XVII, Rochester 1906, S. 567—636.

2) Hahn, F. F., Untermeerische Gleitung bei Trenton Falls (Nordamerika) und ihr Verhältnis zu ähnlichen Störungsbildern. N. Jahrb. f. Mineral. usw., Beil.-Bd. XXXVI, Stuttgart 1913, S. 1—41. (Dortselbst alle nötigen hierhergehörigen Literaturangaben.)

Digitized by Google

stehende, aus REIS entnommene[1]) Fig. 37 gibt den Typus dieser Erscheinung an, die jedoch gelegentlich nachgeahmt wird von diagenetischen Vorgängen, welche zu Volumenänderungen und internen Schichtverbiegungen führen können. Durch submarine Rutschungen können auch sogenannte endostratische Scheinkonglomerate (intraformational conglomerats WALCOTTS) entstehen, wenn diese durch Gleitungen verbogenen Schichtpartien ihren Zusammenhang verlieren und die Falten sich in Einzelteile auflösen. Etwas Derartiges hat WALCOTT aus altpaläozoischen Sedimenten von Nordamerika beschrieben. Es treten, wie HAHN mitteilt, inmitten feinkörniger Ablagerungen, ohne daß der Strandcharakter der Ablagerung erkennbar wäre, gerundete und eckige Fragmente auf, dem Materiale nach von der umgebenden Sedimenthülle nicht oder nur wenig verschieden.



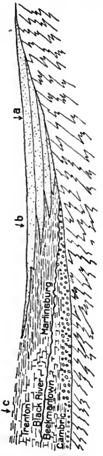
Figur 37.

Ganz speziell, weil für den Paläogeographen von besonderer Wichtigkeit, ist noch ein Fall von transgressiver Überdeckung älterer Schichten durch jüngere zu betrachten, nämlich die **Deltabildung**, welche ja zum Teil im Meere selbst vor sich geht und wobei die Ablagerungen auch Marinfossilien enthalten können. Wenn sich an einem flachen küstennahen Meeresboden ein Deltaabsatz zuerst bildet, entsteht eine progressive Überlagerung dadurch, daß sich der mehr oder minder flache Schuttkegel konzentrisch bzw. radial nach und nach auf dem Meeresgrunde vorschiebt. Anfänglich grob konglomeratig, wird das an dem Stirnrande des Deltas niederfallende Material allmählich feiner werden, wenn nämlich die Oberfläche des Deltas nach und nach an horizontaler Ausdehnung gewinnt. Es kommt so eine Lagerungsdiskordanz von Jüngerem auf liegendem Älterem zustande, die sich, im Profil und auf kurze Entfernung betrachtet, genau wie eine marine Transgression darstellen würde. Nur der Überblick über die ganze Sedimentserie und die Art ihrer Verzahnung mit anderen, gleichalterigen Fazies wird hier ein sicheres Urteil ermöglichen. Die beistehende, aus GRABAU entnommene[2]) Fig. 38 zeigt eine solche Delta-Ablagerung am Westrande des früh-paläozoischen

1) REIS, O. M., Beobachtungen über Schichtenfolge und Gesteinsausbildungen in der fränkischen unteren und mittleren Trias. II. Geognost. Jahresh. für 1909, Jahrg. 22, München 1910, S. 58—285 (m. Tafeln).

2) GRABAU, A. W., Early paleozoic delta deposits of North America. Bull. geol. Soc. America, Vol. XXIV, New York 1913, S. 431.

Landkernes Appalachia, wo die untersilurische Bald Eagle-Formation westwärts bei Martinsburg in Schiefer übergeht und dann in Kalke, die sie nach und nach ersetzen. Faßt man nur die rechte Hälfte ins Auge, so würde ein auf das Urgebirge herabgehendes Profil bei *a* eine regelrechte Transgression über einen alten Festlandskern vortäuschen. Erst wenn man auch die Stelle, wo die Ablagerungen eines tieferen Wassers unmittelbar auf dem Urgebirge liegen und wo die Serie nicht grobklastisch transgressiv beginnt, mitbetrachtet, und wenn wir zwischen *b* und *c* die Gesamtlagerung, das relative Altersverhältnis der Fazies zueinander und den Fossilinhalt, wenn ein solcher vorhanden, in Betracht ziehen, erhält man Aufschluß über den wahren Sachverhalt.



Figur 38.

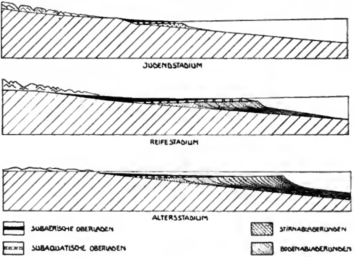
Überhaupt sind die Lagerungsverhältnisse in alten Deltabildungen außerordentlich verwickelt und erst neuerdings von seiten der Amerikaner in ihrer paläogeographischen Bedeutung gewürdigt worden. Nur in ihrer allgemeinsten Form, soweit die Art der Überlagerung in Betracht kommt, können sie hier besprochen werden, und zwar in der von Barrell gegebenen Darstellung[1]) mit einigen kleinen Abänderungen.

Wir denken uns eine nicht sehr geneigte Kontinentalfläche, die sich langsam unter dem Meeresspiegel absenkt und eine weite Bodenfläche liefert — ein natürlicherweise oft vorkommender Zustand, besonders dann, wenn sich ein Land langsam über den Meeresspiegel erhoben hat. Die meisten der vorweltlichen, unserer Beobachtung bisher zugänglichen Ablagerungen haben sich in Küstennähe abgesetzt, also am Boden einer Flachsee, wo die Wogen weniger wirksam brandeten, als an der offenen Seeküste. Mit Hereinbringung von fluviatilem Material entsteht nun ein Delta, bei dessen Bildung unter der Voraussetzung eines stationär bleibenden Bodens und Landes folgende Erscheinungen sich abspielen. Im Jugendstadium, ehe die Entwässerung des betreffenden Landes voll entwickelt ist, wird noch eine relativ geringe Menge jedoch groben Materiales an der Flußmündung zum Absatze gelangen. Die Wogenwirkung wird je nach der Neigung des Bodens mehr oder minder intensiv auf die im obersten der drei Schemata (Fig. 39) dargestellte erste Aufschüttung einwirken und sie vielleicht etwas verwischen. Wenn

1) Barrell, J., Criteria for the recognition of ancient delta deposits. Bull. geol. Soc. America, Vol. XXIII, New York 1912, S. 395ff.

aber das Flußsystem dann stark genug wird, um entsprechende Mengen Materiales aufzuschütten, wie es typischerweise der Fall ist, wächst der Deltakörper rasch seewärts. Wir unterscheiden die auf dem Boden abgesetzten Lagen (bottomset beds), die Stirnabsätze (foreset beds) und die Oberflächenabsätze oder Oberlagen (topset beds). Die beiden ersteren entstehen subaquatisch, die letzteren zerfallen in subaquatische und subaërische. (Fig. 39.)

Das Delta wächst hauptsächlich seewärts, dann aber auch allmählich landeinwärts, wenn es entsprechend hoch genug aufgeschüttet ist, unter Bildung von subaërischen fluviatilen Ablagerungen, und so



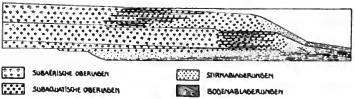
Figur 39.

nähert sich die Entwicklung ihrem Höhepunkte. Das Maximum in der seewärts gerichteten Wachstumsschnelligkeit ist bald erreicht, weil sich die Oberfläche nach allen Seiten radial ausdehnen muß und damit einen sehr rasch wachsenden Betrag des herbeigeführten Materiales zu ihrer Vergrößerung in Anspruch nehmen muß, zumal auch die Tiefe des Wassers weiter draußen zunimmt, so daß auch der Aufbau des Deltas in der Höhenrichtung einer relativ immer größer werdenden Materialmasse bedarf.

Die durch die Deltabildung sich hinausschiebende Küstenlinie ist aber währenddessen immerzu der Wogenarbeit ausgesetzt und zwar umso mehr, je höher das Delta heraufwächst. Die Wogen nehmen von dem oben aufgeschütteten Material vieles weg, das ohnehin mit dem Altern des Zyklus feiner und feiner wird und vielfach im Wasser suspendiert bleibt, um erst weiter draußen niedergeschlagen zu werden. Die Oberlagen verschwinden daher, wenn auch nicht ganz, so doch großenteils, sie werden von der Wogenwirkung, soweit diese hinabreicht, erodiert, aufgearbeitet. Unterdessen ist das Land flacher und flacher geworden, das Meer dringt unter Zerstörung der Oberlagen

landeinwärts über das Delta vor, besonders in der schwächer und schwächer werdenden Flußlinie; das Delta selbst schreitet unter dem Wasserspiegel seewärts nur wenig mehr fort. Das Eindringen des Meeres ins Land kann so erklärt werden, daß infolge der hier und anderwärts erfolgten Aufschüttungen der Wasserspiegel als Ganzes steigt, während von positiven oder negativen Küstenbewegungen hier abzusehen ist, weil wir den Prozeß unter der Voraussetzung stationärer Lage des Festen betrachten.

Nun stellen wir uns vor, es träten Senkungen des Meeresbodens ein, eventuell von Landhebungen begleitet, und sie würden den Ablauf des Zyklus verjüngen in einem Augenblick, ehe er schon ganz das Reifestadium in Fig. 39 durchgemacht hat. Es lagern sich also etwa über dem Alterssttadium neue Oberlagen ab (Fig. 40) und verdecken das frühere Aufschüttungssystem, sodaß es dem Einflusse der bis dahin von außen einwirkenden Agentien entzogen wird. Ist die Deltaoberseite sehr ausgedehnt und sind die Absenkungsbewegungen nicht kontinuierlich, sondern intermittierend und nur im Endresultate fortschreitend, so wird jede Senkungsbewegung eine Verdickung des Deltas nach oben, jede Ruhepause eine Verlängerung des Deltas seewärts und landeinwärts mit sich bringen. Im ganzen aber wird das Resultat mehr ein Emporwachsen, als ein Längenwachstum des Deltas sein, und die beistehende, aus Barrell entnommene Fig. 40



Figur 40.

zeigt, wie sehr die Oberlagen gegenüber den Stirnlagen dominieren im Gegensatze zu dem früher geschilderten Zustande bei stationär bleibendem Meeresboden bzw. Landareal. Beim Auswärtswachsen während der Ruhepausen bilden sich vorzugsweise Stirnablagerungen, beim Absinken des Bodens Oberlagen, und zwar sind diese subaërisch, wenn die Deltaaufschüttung mindestens mit der Absenkung gleichen Schritt hält, dagegen subaquatisch, wenn die Absenkung die Auffüllung etwas übertrifft. In Fig. 40 zeigt der untere Teil den vorhin besprochenen Fall einer Deltabildung bei stillstehendem Boden, wobei das Ablagerungsbecken tiefer ist, als die Wellenwirkung hinabreicht, so daß auch die Oberlagen unversehrt erhalten bleiben; die Stirnablagerungen dominieren, nehmen aber allmählich an Ausdehnung und Bedeutung ab. Der mittlere Teil zeigt die Ablagerungsverhältnisse bei intermittierender Absenkung des Bodens unter gleichzeitiger Kompensierung des Senkungsbetrages durch die Aufschüttung. Das Delta wächst dabei mächtig nach oben, aber nicht absolut ebenso stark seewärts, wie zuerst; die Oberlagen dominieren. Der oberste Teil schließlich erläutert die Auflagerungsweise bei einem bestimmten, kontinuierlich erreichten Absenkungsbetrage, wobei die subaquatischen Oberlagen eine größere Ausdeh-

nung gewinnen; denn nun werden nur die am meisten landwärts liegenden Teile dauernd rein fluviatil überschüttet, während das Meerwasser nichtmehr seewärts hinausgedrängt werden kann, wie bei den Senkungspausen im vorhergehenden Falle. Auch zuletzt gelangt nur ganz wenig Material zum Stirnrandee des Deltas, weil alles zum Vertikalaufbau verwendet wird.

Man erkennt somit, was nebenbei noch bemerkt werden möge, aus der Art des Aufbaues vorweltlicher Delten und aus dem relativen Verhalten ihrer einzelnen übereinanderfolgenden Teile zu einander die Bodenbewegungen, denen der Ablagerungsort seinerzeit ausgesetzt war.

2. Diagenese und Fossilisation.

Ehe man einen Vergleich fossiler Sedimente mit rezenten durchführen kann, um daraus paläogeographische Schlüsse zu ziehen, wird man sich dessen erinnern müssen, daß kein Sediment seinen ursprünglichen Charakter beibehält, weil es schon vom ersten Augenblick seiner Ablagerung an sich in einem Milieu befindet, welches vor allem chemische Veränderungen mit sich bringt. Kaum abgelagert, beginnen die Sedimente sich umzuwandeln. Man nennt diesen, meistens auf außerordentlich lange Zeiten sich erstreckenden Vorgang „Diagnese". WALTHER, auf den die Prägung dieses Begriffes zurückgeht[1]), versteht darunter alle physikalischen und chemischen Umwandlungen, die ein Sediment nach seiner Ablagerung überhaupt durchmachen kann. Ausgeschlossen von dem Begriffe Diagenese sind also von vornherein die vulkanischen Gesteine, also die Veränderungen, welchen ein solches bei seinem Erkalten unterliegt; ferner bleibt ausgeschlossen die Metamorphosierung von Sedimenten infolge Aufdringens magmatischer Massen, oder infolge von Druck (Dynamometamorphose), oder von Absenkung in größere Tiefe und dabei eintretende Erhitzung. WEINSCHENK[2]) faßt unter Diagenese alle chemischen und physikalischen Umwandlungen zusammen, „welche die Gesteine von dem Moment des mechanischen Absatzes an durch die oberflächlich zirkulierenden Gewässer selbst erfahren, und die solange fortdauern, bis die betreffende Schicht der Wirkungssphäre derselben entzogen wird". Er stellt ihnen gegenüber den Metamorphismus, „unter welchem Begriff alle noch späteren Veränderungen zusammenzufassen sind, welche in den Gesteinen vor sich gingen, nachdem dieselben der Umbildung durch die Agentien der Oberfläche entzogen und bereits zu geologischen Körpern geworden waren".

Wir wollen mit ANDRÉE[3]) unter Diagenese nur diejenigen molekularen Umlagerungen verstehen, die „das sedimentierte Material unter dem Einfluß des Mediums, in welchem es abgelagert wurde,

1) WALTHER, J., Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. III. Lithogenesis der Gegenwart, Jena 1894, S. 693—711.

2) WEINSCHENK, E., Allgemeine Gesteinskunde als Grundlage der Geologie. 2. Aufl., Freiburg 1906, S. 117.

3) ANDRÉE, K., Die Diagenese der Sedimente, ihre Beziehung zur Sedimentbildung und Sedimentpetrographie. Geol. Rundschau, Bd. II, Leipzig 1911, S. 61—74; S. 115—130. (Zahlreiche Literaturzitate!)

— Die paläogeographische Bedeutung sedimentpetrographischer Studien. Peterm. Mitteil., Jahrg. 59, 1913, Bd. II, S. 121—123.

Digitized by Google

erleidet, und welchen es eventuell auch noch nach Heraushebung aus diesem Medium durch die gewöhnliche Bergfeuchtigkeit oder durch zirkulierende vadose Wässer unterlegen ist, soweit dieselben keine fremden (von außerhalb des Sedimentes stammenden) Stoffe gelöst enthalten". Zur Erläuterung gibt ANDRÉE folgendes Beispiel:

„Wenn auf der Sinaihalbinsel an mehreren Punkten der Westküste des Roten Meeres Korallenkalke durch Einwirkung schwefelhaltiger Quellen in Gips umgewandelt werden, so ist dieser Vorgang eine Zufälligkeit, welche mit der Entstehung des Korallenkalkes als solchen nicht das mindeste zu tun hat. Wenn am bekannten Iberge bei Grund im Harz die oberdevonischen Kalkmassen lokal in einen kieseligen Kalk verwandelt wurden, so ist doch dieser Vorgang hier nicht allein auf den Riffkalk des Oberdevons beschränkt, sondern die auch auf Spalten in diese eingesunkenen Kulmkalke sind von der Umwandlung ebenfalls ergriffen worden, und der Prozeß dieser Verkieselung ist offensichtlich auf von unten aufdringende Quellwässer zurückzuführen, welche mit der Bildung jener Kalke in keinem Zusammenhange stehen." Solche Vorgänge sind, wie ANDRÉE mit Recht betont, petrogenetisch aber etwas ganz anderes, als wenn sich beispielsweise ein Korallenriff infolge der inneren Zersetzung seiner Masse und durch Einwirkung des Meerwassers, in dem es entstand, in Dolomit umwandelt.

Wie jedes Schema und jede Einteilung, die wir an die Natur heranbringen, müssen sich auch bei dieser Definition gelegentlich Inkonsequenzen ergeben. So wird es z. B. schwer sein, bei der Verfestigung gewisser fluviatiler Sedimente, wie der harten betonartigen glazialen Nagelfluhe des alpinen Vorlandes, zu unterscheiden, ob dies ein diagenetischer Prozeß im Sinne von ANDRÉE, oder eine Versinterung, oder beides in einem ist. Auch, ist, wie HAHN bemerkt[1]), das Übergehen von Stoffteilen einer oberen in eine unmittelbar darunterliegende, petrographisch andersartige Schicht durch vadose Wässer, wenn man will, nach der obigen Definition eigentlich schon nichtmehr streng diagenetisch; ANDRÉE zieht diesen Fall auch noch zur Diagenese in seinem Sinne[2]). Auch gegen die WALTHER'sche Definition, welcher HAHN den Vorzug zu geben scheint, läßt sich ja einwenden, daß dort z. B. die Verwitterung vielfach nicht scharf von den spezifisch diagenetischen Vorgängen zu trennen ist. Wir wollen darum hier, ohne in niemals zu erledigende kleinliche Begriffsstreitigkeiten weiter einzugreifen, der sehr brauchbaren ANDRÉE'schen Einteilung folgen und vielleicht nur vorschlagen, jene diagenetischen Vorgänge, welche dieser Autor nur als solche bezeichnet wissen will, „eigentliche Diagenese" zu nennen, die übrigen, über deren Zuteilung ein Zweifel berechtigt ist, wie die spätere Versinterung oder Verwitterung, wohin dann auch noch die Metamorphose der Gesteine, vielleicht durch Absenkung in große Tiefen vor sich gehend, zu rechnen wäre, als „erweiterte Diagenese" zu bezeichnen. Daß zwischen all' den erdenklichen Arten von diagenetischen Prozessen immerzu Übergänge existieren, bzw. daß sie vielfach in ihrer Wirkung vereinigt auftreten, kann ebensowenig

1) HAHN, F., Untermeerische Gleitung bei Trenton Falls (Nordamerika) und ihr Verhältnis zu ähnlichen Störungsbildern. N. Jahrb. f. Mineral. usw., Beil.-Bd. XXXVI. Stuttgart 1912. S. 34, Anm. 1.

2) ANDRÉE, K., Die paläogeographische Bedeutung usw., a. a. O. S. 121, Anm. 3.

ein Argument gegen eine bestimmte Einteilung sein, wie die Übergangsformen im natürlichen System der Organismen gegen dieses.

Die eigentliche Diagenese zerfällt danach in eine Umwandlung:

a) unmittelbar nach der Ablagerung des Sedimentes und in dem Medium seiner Entstehung;

b) nach der Emporhebung über jenes Medium, also nach der sogenannten Trockenlegung, jedoch nur soweit, als die ursprüngliche Bergfeuchtigkeit noch wirkt und unter Ausschluß der durch beginnende Einwirkung von Atmosphärilien, Temperaturwechsel oder Organismen einsetzenden Veränderungen. Denn damit ist der diagenetische Prozeß endgültig zu Ende, den folgender von Andrée gegebener Zyklus[1]) begrenzt:

I. Verwitterung eines vorhandenen Gesteins, Transport und Ablagerung der Verwitterungsprodukte, nebst Hinzutreten der übrigen Gesteinskomponenten: Sedimentation.

II. Diagenese,

III. Verwitterung.

Man darf aber diesen Prozeß nicht als einen zeitlich streng geordneten auffassen. Denn wir wissen, daß oft kleine Sedimentationsunterbrechungen während der Ablagerung einer Schichtserie vorkommen, Trockenlegungen, durch welche den Atmosphärilien eine temporäre Einwirkung auf die eben abgelagerten und noch kaum diagenetisch veränderten Sedimente gestattet wird; alsbald aber findet durch erneutes Einsinken unter den Meeresspiegel die Sedimentation ihren Fortgang und damit der eigentlich diagenetische Prozeß. Andrerseits können diagenetische Veränderungen an Gesteinsproben noch bis in das Untersuchungslaboratorium hinein sich fortsetzen, wenn wir an das Ausblühen und den damit unvermeidlich verknüpften Zerfall von Schwefelkiesen oder salzhaltigen Gesteinen denken.

Aus der komplizierten Mannigfaltigkeit der diagenetischen Vorgänge seien nur kurz einige der wichtigeren und besser erforschten hervorgehoben. Ein ungeheueres Arbeitsfeld liegt hier noch offen. Auf die chemischen Vorgänge im einzelnen dürfen wir uns dabei nicht einlassen, weil wir keine Darstellung der Prozesse der allgemeinen Geologie geben, sondern nur auf die Bedeutung dieser Erscheinungen für die Bewertung der Sedimente zu paläogeographischen Zwecken hinweisen wollen.

Der einfachste Fall ist die Auflösung von Sedimentkomponenten unmittelbar nach der Ablagerung. Sehr kohlensäurehaltiges Wasser löst bekanntlich das $CaCO^3$, und da dieser kohlensaure Kalk meistens in Form von Organismenschalen und deren Trümmern zur Absetzung gelangt, bezieht sich speziell dieser Lösungsvorgang auf das Verschwinden solcher Reste, die sich allerdings gegen die chemische Zerstörung ganz verschieden verhalten. Wenn kieselige Organismen aufgelöst werden und deren Stoff dann einheitlich durch das tonige oder kalkige Sediment diffundiert, kann ein kieseliger Ton oder Kalk entstehen. Auch vulkanische Gesteine werden, in ein Sediment gelangt, auf diesem Wege zum Verschwinden gebracht. Damit werden wir zu einer anderen Seite des Vorgangs der Diagenese geführt, zur Umkrystallisation und zur Pseudomorphosierung, die sich auch an den eingebetteten Organismenresten besonders deutlich zu erkennen gibt, wobei

1) Andrée, K., Die Diagenese der Sedimente usw., a. a. O. S. 130.

die organische Struktur verschwindet und durch unorganische Substanz ersetzt wird. Es ist das so aufzufassen, daß die labilere Form des kohlensauren Kalkes in den stabilen Kalkspat übergeführt wird. Solche Umkrystallisierungen gehen im tonigen Sediment weniger leicht vor sich als etwa im kalkigen[1]). Mikroorganismen bzw. die zersetzende Kraft der zerfallenden organischen Stoffe spielt hier teilweise mit herein. Der bekannteste derartige zusammengesetzte Fall ist wohl die Dolomitisierung der Korallenriffe und die damit Hand in Hand gehende Verwischung der Struktur; und der extremste Fall: die Torf- und Steinkohlenbildung. Auf die wichtige Erscheinung der Kornvergrößerung macht ANDRÉE aufmerksam[2]): kleinere Komponenten werden zugunsten größerer aufgezehrt. Damit ist der Übergang zur Konkretionsbildung geschaffen, bei der im Sediment weithin verteilte Stoffe sich zu einem Kern zusammenziehen und an der Konzentrationsstelle durch Krystallisationsdruck sich den nötigen Raum schaffen[3]). Aus einer derartigen Affinität entspringt auch die im übrigen wahrscheinlich sehr mannigfaltige Oolithbildung, und in diese Kategorie diagenetischer Erscheinungen gehören die Hornstein-, Mangan-, Schwefelkies- und Phosphatkonkretionen, die in allen vorweltlichen Sedimenten eine so große Rolle spielen, daß sie früher weiter verbreitet gewesen sein dürften, als in den jetztweltlichen Ablagerungen. Auch die Kalkoolithe selbst können wieder diagenetisch in Kieseloolithe übergeführt werden[4]).

Diese Vorgänge können sich sowohl während des Verbleibs eines Sedimentes in seinem Ablagerungsmilieu, als auch nach seiner Heraushebung abspielen; ja sie haben zu ihrer Voraussetzung überhaupt keine Wasserablagerung nötig, wie die konkretionären Lößkindchen beweisen. Nach der Heraushebung tritt, soweit sie nicht, wie bei den Riffkalkbildungen, schon primär vorhanden ist, eine Verhärtung, Verzementierung der Sedimente ein, die nicht mit Versinterung zu verwechseln, sondern der ursprünglichen Bergfeuchtigkeit als vermittelndem Element zuzuschreiben ist. Doch ist die Verhärtung keineswegs eine unbedingte Notwendigkeit, wie die heute noch unverhärteten blauen kambrischen Tone des Ostbaltikums beweisen. Zum Teil erhärten die Sedimente aber auch schon im Ablagerungsmedium, z. B. der Korallendetritus zwischen und im Umkreis der Riffe[5]). Ebenso kommt nach der Emporhebung die Entsalzung zustande.

Wenn also auch, wie wir gesehen haben, keineswegs der Satz gilt, daß Sedimente umso veränderter sind je älter sie sind, sondern sehr wesentliche andere physikalische und chemische Bedingungen hier mitsprechen, so kann man doch im großen und ganzen annehmen, daß unter gewöhnlichen Bedingungen ein stark umgewandeltes Sediment wesentlich älter ist, als ein nichtumgewandeltes. Diagenetisch verändert ist aber ein jedes, und zwar beginnt dieser Prozeß schon unmittelbar nach der Ablagerung. Auf dieser Tatsache beruht die große

1) ANDRÉE, K., a. a. O. S. 110 u. 115.
2) ANDRÉE, K., a. a. O. S. 119/120.
3) DAVIES, A. M., The origin of septarian structure. Geol. Magaz. Dec. V, Vol. X, London 1913, S. 99—101.
4) HOHENSTEIN, V., Beiträge zur Kenntnis des mittleren Muschelkalkes und des unteren Trochitenkalkes am östlichen Schwarzwaldrand. Geol. u. Paläontol. Abhandl., N. F., Bd. XII, Jena 1913, S. 39, 40.
5) ANDRÉE, K., a. a. O. S. 128 u. 127.

Digitized by Google

Schwierigkeit eines Vergleiches zwischen vorweltlichen und jetztweltlichen Sedimenten und es erklären sich daraus die vielen, oben schon gelegentlich erwähnten Zweifel über die Tiefe und die Entstehungsart zahlreicher Schichten.

Wie sehr durch die Diagenese der ursprüngliche Zustand der Sedimente verändert, „gefälscht“ werden kann, und von welcher Wichtigkeit daher die Kenntnis dieser Möglichkeiten für den Paläogeographen ist, wenn er sich vor falschen Schlüssen zu hüten wünscht, zeigt ANDRÉE mit einem überzeugenden Beispiel[1]) an gewissen Salzarten der permischen Salzvorkommen, für deren Entstehung hohe Temperaturen notwendig waren, die man in die Zeiten der ursprünglichen Ablagerung verlegt hat, die sich jedoch auch später bei diagenetischen Reaktionsprozessen innerhalb der Salzmassen entwickelt haben können, und daß daher „nicht jede Mineralparagenese, welche wir in einem fossilen Sediment antreffen, ohne weiteres als ein geologisches Thermometer, wie man gesagt hat, für die Entstehungszeit des betreffenden Sedimentes benutzt werden kann“. Schließlich sind auch die Entstehung der Steinkohlen und die Ausdestillierung der Bitumina aus dem organischen Inhalt der Sedimente als echt diagenetische Prozesse anzusehen.

3. Die Marinablagerungen.

a) Allgemeine Einteilung.

In einer sehr begrüßenswerten Arbeit über die Sedimentbildung[2]) betont ANDRÉE, daß sich weder nach chemischen, noch physikalischen Gesichtspunkten eine Klassifizierung der Sedimente durchführen läßt, weil sonst unter völlig verschiedenen äußeren Bedingungen entstandene Ablagerungen in eine Rubrik eingereiht werden müssen. Ein Quarzsandstein derselben Konsistenz kann in einem Seebecken, in einer Wüste und in der marinen Küstenzone entstehen und daher kann „Anspruch auf unsere Beachtung allein ein System der Meeressedimente haben, das auf ihrer geographischen Verteilung beruht“, also eine Einteilung nach den natürlichen vertikalen geomorphologischen Zonen der Meere. Zugleich aber sind die Charaktere der Sedimente nach ANDRÉE mit bedingt von dem Wirken der Transportkräfte und — fügen wir hinzu — von dem mechanischen und chemischen Charakter des suspendierenden Milieus, also von der Ruhe oder Beweglichkeit des Meerwassers, von der Tiefe, dem damit zunehmenden Kohlensäurereichtum und der hierdurch hervorgerufenen großen Lösungsfähigkeit nicht nur für Kalk, sondern auch für andere, z. B. vulkanische Massen, welche in die Tiefsee geraten.

Unter Transportkräften haben wir, wie schon gesagt, nicht nur die Meeresströmungen und die Wellenbewegungen der Küstenzone zu verstehen, sondern vor allem auch die Flüsse und Ströme des Landes und den vom Lande zum Meere wehenden Wind. Schließlich hängt die Sedimentbildung unmittelbar oft ab von dem Charakter der Lebewesen in dem betreffenden Sedimentationsbecken, in welcher Hin-

1) ANDRÉE, K., Paläogeograph. Bedeutung der Sedimentpetrographie, a. a. O. S. 122.

2) ANDRÉE, K., Über Sedimentbildung am Meeresboden. Geol. Rundschau, Bd. III, Leipzig 1912, S. 324ff. (Mit Literaturverzeichnis von 1841 ab!)

sicht auf das im Kap. VIII über den wechselnden Charakter der Gesteine der einzelnen Formationen Gesagte zu erinnern ist. So wird also ein natürliches und vor allem ein auch für den Paläogeographen brauchbares System der Marinsedimente aus einer sinngemäßen Verwebung aller dieser vorgenannten Gesichtspunkte hervorgehen müssen.

Wir unterscheiden daher mit Krümmel[1]), aber entsprechend den von Andrée gebrachten Modifikationen, folgende drei Sedimentgruppen: Die litoralen, hemipelagischen und eupelagischen. Gemäß der idealen, in der Wirklichkeit aber auch bis zu einem gewissen Grade bestehenden Einteilung des Ozeans in eine dem Festlandssockel angehörende Schelfzone, ferner in die Abböschungszone des Schelfes zur Tiefsee hinunter und drittens in die Tiefseeregion selbst (vgl. hierzu Fig. 18 auf S. 44) können wir der Reihe nach unsere drei Sedimentkategorien auf diese Regionen beziehen und setzen: 1. Litorale = Schelfablagerungen; 2. hemipelagische = landfernere Zwischenablagerungen; 3. eupelagische = Tiefseeablagerungen. Die ersteren können wir noch einmal spezieller gliedern und dann im ganzen, auch als Paläogeographen, mit der modernen Ozeanographie folgendermaßen einteilen, wobei für uns eine speziellere regional-vertikale Einteilung nur bei I praktischen Wert hat:

I. Litorale oder landnahe Ablagerungen	1. Strand- und Küstensedimente; 2. Eigentliche Schelfsedimente außerhalb der unmittelbarsten Landnähe.	Blöcke, Kiese, Sande, Schlicke
II. Hemipelagische Ablagerungen der Zwischenzone (Zwischenablagerungen)		Sande, Schlicke
III. Eupelagische oder landfernste Ablagerungen (Tiefseeablagerungen)		Schlamme und Tone

Mit dieser Einteilung ist auch jene Unsicherheit in der geologischen Nomenklatur und Begriffsbildung beseitigt, die aus früheren Zeiten datiert, als die Ozeanographie noch nicht über die ersten dunklen Vorstellungen von Sedimentbildung und ozeanischen Tiefenregionen hinausgekommen war, eine Unsicherheit, die sich noch in vielen stratigraphischen Arbeiten geltend macht, wenn etwa von pelagischen Ablagerungen oder von „Hochseeablagerungen" geredet wird, wie wir das gelegentlich oben, um einen allgemeinen Ausdruck zu haben, ebenfalls taten, ohne daß damit klare Vorstellungen über die Tiefenregionen und sonstigen äußeren Bedingungen der Ablagerung verknüpft wurden, zumal auch diese Begriffe sehr oft ohne weiteres als gleichbedeutend mit Kalk- oder Mergelkalkbildungen gesetzt wurden.

Die Krümmel-Andrée'sche Einteilung hat den Vorzug, daß sie erlaubt, die Sedimente nach ihrer die geographischen und biologischen Verhältnisse widerspiegelnden Genesis zu rubrizieren und nicht ihre chemische Zusammensetzung in den Vordergrund zu schieben. Das ist es gerade, was der Paläogeograph zur Rekonstruktion seiner vorweltlichen Geomorphologie und ozeanischen Bodengestaltung vor allem braucht. Weil sich jedoch die verschiedenen Sedimentationsvorgänge in den einzelnen Meeresregionen ganz oder teilweise mit-

1) Krümmel, O., Handbuch der Ozeanographie, Bd. I, 2. Aufl., Stuttgart 1907, S. 152ff.

Digitized by Google

einander verflechten können, sind gewisse Wiederholungen, Inkonsequenzen und Umstellungen der Kategoriewerte (z. B. vulkanisch) und gelegentliche doppelte Einreihungen, wie bei jedem System, in das man die Natur zu pressen sucht, nicht zu vermeiden. Ich möchte für paläogeographische Zwecke im weitesten Sinne folgendes Einteilungsschema für die Marinsedimente jeder Gruppe anwenden:

terrigen	vulkanisch	organogen		halmyrogen [1]	kosmogen
fluviatil glazial äolisch vulkanisch	terrigen halogen	aktiv	benthogen	einfach ausgefällt	grob staubförmig
		passiv	benthogen nektogen planktogen	konkretionär	

Zur Erläuterung vorstehender Spezialeinteilung folgende Beispiele: Unter terrigenen Marinsedimenten verstehen wir alle die Materialien, welche durch die bekannten Vorgänge des Wasserkreislaufes, chemische und mechanische Verwitterung und die Erosion der Meeresbrandung herbeigeschafft werden und zur Ablagerung gelangen. Wir schließen die glazialen ein als einen eigenen speziellen Ausnahmefall, der eintritt, wenn Gletscher, wie die diluvialen Südschwedens, an die Küste herantreten, dort kalben und dabei ihr Schuttmaterial ins Meer fallen lassen, oder wenn Gesteins- und Schuttmaterial enthaltende Eisberge weithin über See treiben und dann beim Abschmelzen dieses Material in hochpelagische Ablagerungen gelangen lassen, wie das, abgesehen von Fällen aus der Jetztwelt, auch im Diluvium und in dem glazialen Perm von Neu-Südwales zu beobachten ist.

Terrigen-äolisch sind analog solche Ablagerungen, die, wie vermutlich die obersten Solnhofener Plattenkalke oder der Doggersand (β) bei Regensburg, aus Material bestehen, das zwar marin sedimentiert ist, aber nicht durch die vorgenannten Faktoren, sondern durch den Wind hereingeweht wurde und daher oft unmittelbar in Dünenbildung übergehen kann. Terrigen-vulkanisch endlich nennen wir ein Sediment, dessen Material aus einem noch am Lande stehenden Vulkan ins Meer hineingestreut worden oder sich als Lavastrom hineinergossen hat. So können wir unter den rein aus Vulkanmaterial rekrutierten Marinsedimenten weiter unterscheiden noch solche, deren Material aus submarinen Vulkanen emporkam, also stets von vorneherein marin (halogen) war und daher unmittelbar bei seiner Entstehung sedimentär wurde.

Unter den organogenen (= biogen, Krümmel-Andrée) sind aktiv- und passiv-organogene auseinanderzuhalten. Die Lithothamnien- und Korallenkalke sind aktiv-, die Muschellumachellen sind passiv-organogene Bildungen. Je nach der bionomischen Beziehung können die ersteren nur aus benthonischen Organismen hervorgehen; aus planktonischen und nektonischen können sich naturgemäß nur passivorganogene zusammensetzen.

Halmyrogen oder chemisch ausgefällte Materialien sind solche, die aus Lösungen, wie Mutterlauge, zustandekommen. Konkretionär-

1) Chemisch, vor allem durch den Chlormagnesiagehalt des Meerwassers niedergeschlagen.

halmyrogen sind z. B. die Phosphat- und Schwefelkiesknollen mancher Juraablagerungen, die erst nach Ablagerung des Sedimentes zusammentreten durch eine merkwürdige Affinität.

Das kosmische Material endlich gelangt in grober Form als Meteoriten, oder in feinster Verteilung als Staub auf den Grund des Meeres.

Unter allen diesen Typen gibt es natürlich Übergänge bzw. Kombinationen. So kann der reichlich mit kosmischem Staub durchsetzte braunrote Tiefseeton noch zusammengesetzt sein aus den Lösungsprodukten vulkanischen Materials und planktonischer Globigerinen, ist dann also nach unserer Nomenklatur kosmogen-staubförmig, passiv-organogen und halogen-vulkanisch. Ein hemipelagisches Sediment kann passiv-organogen, halmyrogen-konkretionär, terrigen-klastisch und zum Teil terrigen-glazial sein usw.

Wir kommen damit allerdings wieder zu der von Andrée verworfenen Einteilung nach chemisch physikalischen Gesichtspunkten zurück, aber nur im speziellen Detail, was etwas ganz anderes ist, als wenn man von vorneherein die Hauptgruppen nach dem chemisch-physikalischen Gesichtspunkte konstituiert, was auch wir, wie gesagt, mit Andrée für unzweckmäßig halten. Dagegen ist diese Einteilung in den speziellen Fällen unumgänglich nötig, weil sich durch solche Analysen wichtige Rückschlüsse auf paläogeographische Verhältnisse ziehen lassen.

h) Strandablagerungen.

Unter Strand verstehen wir die Zone des Wellenbereiches, die man auch ganz allgemein als Küste bezeichnen kann. Unter Steilküste verstehen wir dann die vom Meeresspiegel aus unmittelbar ansteigenden weichen oder felsigen Hänge, welche allgemein charakterisiert sind durch die basale Unterwaschung, wodurch das Hangende nachstürzt und das Meer unter Schaffung eines Flachstrandes landeinwärts schreitet. An Felsküsten lagern sich in dieser Zone grobe Gesteine aus den herunterstürzenden Felsmassen ab, die alsbald hin- und hergerollt, gerundet werden; der hieraus entstehende feinste Sand und Schlamm wird fortgeschwemmt, die Gerölle und Gesteinstrümmer bleiben liegen. Am Flachstrand dagegen finden sich nur solche Gerölle, die von der Brandung heraufgeworfen wurden, dagegen hier noch mehr oder minder feiner Sande. In der bebrandeten Flachstrandzone werden Tang, Treibholz, Molluskenschalen aufgehäuft, Taschenkrebse und Würmer stecken in dem feuchten Sande. An der voller gröbsten Gerölles liegenden und mit Spalten und Schlupfwinkeln versehenen Steilküste hausen dagegen dickschalige Mollusken, Krebse, Balaniden und Seesterne etc. lebendig, während nach dem Tod der Tiere die Schalen meist zertrümmert werden und so zwischen dem abgelagerten Gestein nicht erhalten bleiben. Daher kommt es, daß wir in fossilen Strand- bzw. Küstenkonglomeraten selten Hoffnung haben, organische Reste anders als in Bruchstücken zu finden. Außerhalb der Brandungszone, in Buchten und im Wattenmeere, hinter küstennahen Sand- und Dünenzungen, wo die Macht der Wogen gebrochen ist, bilden sich Schlicklager, ein meist dunkelbrauner bis schwärzlicher, zäher tonig-lehmiger Schlamm, entstanden aus dem am Strand und an der Steilküste weggeführten feinsten Material, oder aus den feinsten, vom Lande gekommenen Trübungen und Sinkstoffen, die sich rasch niederschlagen, weil das salzige Meerwasser

stark ausfällend wirkt. Zum allergrößten Teile ist der Schlick organisches Sapropel. In den Tropen, wo nach KRÜMMEL die im seichten Küstenwasser stehenden Mangrovewälder gute Schlickfänger sind, ist diese Ablagerung rot bis braunrot gefärbt von den vom Lande herbeigeschwemmten lateritischen Massen.

Wo Korallenrasen und -riffe den Strand umsäumen, oder wo selbständige Riffe nach der bekannten DARWIN'schen Theorie aus dem Ozean frei emporwachsen, da wirken sie wie eine Flach- bzw. Steilküste und demgemäß bilden sich zwischen ihnen auch Sand- und Schlicklager, nur mit dem Unterschiede, daß das Material nicht wie an der gewöhnlichen Küste aus Quarzsanden, vulkanischen oder sonstigen Mineralsanden, sondern aus den Zerstörungsprodukten des Riffes und seiner Bewohner besteht, also aus Korallendetritus Korallensand und -schlamm, den Schalen und Schalentrümmern von Muscheln, Seeigeln und Krebsen. Konglomerate mit abgerundetem Geröllmaterial können dort nicht entstehen, weil sich das Korallengestein im frischen Zustande hierzu nicht eignet. Die auch in der Brandungszone der Riffe entstehenden Sedimente gleichen in der Feinheit ihres Kornes daher mehr denen des ruhigen Strandes oder des eigentlichen Flachmeeres.

Sehr charakteristisch für die Strandzone sind meist symmetrisch gebaute Wellenfurchen oder Rippelmarken, welche im Sand und im zähen Schlick dadurch entstehen, daß der Wind in kurzen Stößen eine nicht sehr bewegte, seichte Wasserschicht in kurze unregelmäßige und ungleichzeitige Wellung versetzt, die bis auf den Grund der Lache hinabreicht und den Boden skulptiert. Die Wellenfurchen geben ein außerordentlich brauchbares Mittel ab, auch feinkörnige Sedimente als unmittelbar am Strande abgelagert zu erkennen, was um so wichtiger ist, als ja das feine oder grobe Korn nicht ein unbedingter Beweis für die Ablagerungstiefe ist, weil oft unmittelbar vom Lande aus grobes Material in eine tiefere Absenkung geraten kann. Trockenrisse, Tierfährten, kegelförmige Texturen in Sandsteinen (vgl. S. 212) sind weitere gelegentliche Charakteristika der flachen Strandregion.

Mit den richtigen Wellenfurchen dürfen natürlich nicht spätere tektonische Fältelungen oder Flaserungen von Gesteinen, besonders auch in sandigen Schiefern nicht, verwechselt werden. Über die eine oder die andere Deutung ist seinerzeit inbezug auf gewisse Wellenfurchen im rheinischen Unterdevon debattiert worden[1]). Nähert sich die Wellenfurchenbildung der Flaserung, dann ist, wie in der devonischen Siegener Stufe, die Erscheinung besonders schwierig deutbar.

c) Schelfablagerungen.

Wenn sich der Meeresboden von der Küste aus allmählich senkt, geht er zuerst über in ein bald breiteres, bald schmäleres terrassenartiges Band, das durchschnittlich bis zu 200 m Tiefe hinabreichen kann und durchschnittlich 200—300 km breit ist: der Schelf; er endet an einer mehr oder minder plötzlichen Absenkung zur ozeanischen Tiefe. Der Schelf gehört somit zum Kontinentalsockel, und daraus geht hervor, daß die momentanen, auf unseren Karten der jetzigen Erdoberfläche sichtbaren Land- und Meeresgrenzen nicht die

1) KRAUSE, P. G., Wellenfurchen im linksrheinischen Unterdevon. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 63, Monatsber., Berlin 1911, S. 196—202.

wahren Grenzen der Kontinente sind. Ablagerungen in der Schelf- und Küstenzone sind also durchweg Ablagerungen auf dem Kontinentalsockel. Der Schelfkranz ist aber nicht, wie schon früher ausgeführt wurde, etwa als ein Aufschüttungsprodukt der Festlandszerstörung anzusehen, etwa im Sinne einer seitwärts erweiterten Deltabildung. Das mag[1]) zwar an vielen Stellen im einzelnen der Fall sein, z. B. am antarktischen Schelfrande, der durch die massenweise glaziale Aufschüttung seewärts wächst, ebenso wie der neufundländische und nordsibirische; auch der Nordseeschelf liefert Anhaltspunkte für eine Umgestaltung seiner Konfiguration durch das Diluvialeis. Aber man darf nicht vergessen, daß dies nur Modifikationen der Schelfzone herbeiführt, nicht aber diese selbst bedingt. Vielmehr spricht der steile Abfall des Schelfrandes gegen die eigentliche Tiefsee für die primäre geomorphologische Selbständigkeit des Schelfes, weil die Aufschüttungsmaterialien mit flacher Böschung zur Ablagerung gelangen und weil an dem Steilrande Rutschungen stattfinden müßten, wenn er aus aufgeschütteten Sedimenten bestünde. Auch müßte dann der Schelf im allgemeinen in seinen dem Strand bzw. der Küste genäherten Teilen auch gröbere Sedimente zeigen, aber diese zonenförmige Anordnung ist nicht vorhanden, die Sedimente verhalten sich in Landnähe und -ferne ziemlich einheitlich.

Die Schelfsedimente setzen sich immer noch direkt oder indirekt aus terrigenem Material zusammen, sei es, daß die von den Flüssen ins Meer gebrachten Stoffe erst weiter draußen zur Ablagerung gelangen, sei es, daß sie aus dem feineren, von der Brandung am Strande oder an der Küste weggewaschenen und aufbereiteten Material bestehen. Demzufolge bestehen die Schelfablagerungen in erster Linie aus feinstem Sand und Schlick. In den tieferen und ruhigeren landfernen Senken häufen sich Ton- und Kalkschlick vorzugsweise an, in den von Strömungen beunruhigten Regionen mehr die gröberen Sandmaterialien. Ganz dasselbe ist in den epikontinentalen Ingressionsmeeren der Fall, die sich ja, wie schon angedeutet, nicht wesentlich von der Schelfflachsee unterscheiden.

Reichlich organische Stoffe kommen in die Schlicke hinein, teils von Marintieren, teils von eingeschwemmten Landorganismen stammend, und erzeugen durch die Verwesung in den mulmerfüllten Senken leicht Schwefel- und Phosphatausscheidungen, die sich später, wenn das Sediment fossil wird und zu erhärten beginnt, als Schwefelkies und Phosphatkonkretionen manifestieren. In welcher Masse in diese zum Teil mehrere 100 km von der Küste entfernten, aber dennoch dem Kontinentalsockel angehörenden Ablagerungen organisches Material, insbesondere Landpflanzen eingeschwemmt werden können, zeigt die von Krümmel[2]) erwähnte Tatsache, daß Treibhölzer, Zweige, Blätter, Schilf von den tropischen Riesenströmen zuweilen geradezu als vom Land losgerissene treibende Insel viele 100 km weit in den Ozean hinausgedriftet werden und dann allmählich zu Boden sinken. Der Paläogeograph wird daher vorsichtig sein müssen und nicht in jedem sandigen Sediment mit Landpflanzen die bekannte „küstennahe" Ablagerung sehen dürfen — ein Begriff, der in der stratigraphischen Literatur umso öfter ver-

1) Krümmel, O., Ozeanographie, Bd. I, 2. Aufl., 1907, S. 106.
2) Krümmel, O., a. a. O. S. 166.

wendet wird, je weniger man den Unterschied zwischen Strand- und Schelfablagerung beachtet.

Marines Benthos und Nektos gerät natürlich ebenfalls in die Schelfablagerungen hinein, dimyare Muscheln, wie Veneriden und Cypriniden, im Gegensatze zu den mehr das bewegte Flachwasser bevorzugenden monomyaren Austern; dann auch gewisse Seeigel, und in den tropischen südpazifischen Gegenden und im indischen Ozean die Korallenriffe und Korallenrasen, die wir schon bei den Strandablagerungen erwähnten; auch die Staubstürme des Landes tragen feinen Sand und Staub mit Insekten vermischt in die landfernere Flachsee. Es ist, mit einem Worte, vorzugsweise die Region, in welcher Kalksedimentbildung durch Aufhäufung benthonischer Meerestiere bewirkt wird. Ein spezieller Fall ist neben den schon erwähnten Korallenriffen die Bildung von Kalkkrusten und Kalkrasen durch kalkabscheidende Meeresalgen, die Lithothamnien, die z. B. im Mittelmeer ihre Riffe bauen. Besonders zu beachten ist noch, daß eine Kalksedimentbildung auch in unmittelbarster Nähe des Strandes selbst stattfinden kann, wenn nämlich durch Denudation einer Kalkküste oder durch Beibringung detritogenen Kalkes aus dem Lande solcher sich als klastisches Sediment absetzt. Ist er fein, dann wird er unter Umständen, besonders im fossilen Zustande, kaum von dem organogenen Kalk des freien Meeres, zu unterscheiden sein.

Nicht recht zu trennen und deshalb am besten im Zusammenhange mit den Schelfablagerungen zu besprechen sind die

d) hemipelagischen Ablagerungen.

Dies sind jene Sedimente, welche in der geologisch-stratigraphischen Spezialliteratur mit Vorliebe als „pelagische" oder als „Hochsee"-Ablagerungen bezeichnet werden, ohne daß man damit einen anderen als den ganz vagen Begriff des „landfernen" oder „tiefen" Meeres verbände. Während die bisher besprochenen Sedimente sich also auf dem Festlandssockel selbst bilden, entstehen die hemipelagischen dort, wo dieser seine natürliche Grenze findet und zu den großen Tiefen mehr oder minder unvermittelt hinabsteigt. Es sind dieselben Sedimente, wie in den Rinnen und landfernsten Regionen des Schelfes, und, wenn der Schelf sich weit hinaus erstreckt, kaum mehr beeinflußt von den ins Meer geführten terrigenen Materialien; dagegen noch deutlich davon beeinflußt, wenn der Schelf schmal ist und die extrakontinentalen Tiefenregionen nahe an die Küste herantreten. Im letzteren Falle können die terrigenen Massen dann geradezu in die Tiefsee eindringen und sind dann in gewissem Sinn „Tiefseeablagerungen", so daß der petrographisch-mechanische Charakter eines Sedimentes also nicht unbedingt stets einen Rückschluß auf die Region, in der seine Ablagerung stattfand, erlaubt.

Hier kommt es zunächst auf das Typische an. Farbiger Tonschlick, selten noch glaukonitischer Grünsand, Kalksand und Kalkschlick sind die charakteristischen Sedimente der tiefsten Schelfzone und ihres Überganges in die eigentliche Tiefsee. Der Tonschlick hat stets einen gewissen Kalkgehalt, und je mehr sich ihm kalkschalige Organismenreste beimengen, umso mehr wird er zum Kalkschlick oder Mergelschlick. Die Sedimente setzen sich noch aus feinstem Festlandsmaterial zusammen, und abgesehen von den durch Organismen aktiv oder passiv erzeugten Ablagerungen kommt noch Material aus der

Schelfregion hinzu, sei es durch Absenkungen und Abrutschungen, oder durch Strömungszufuhr, oder durch Vulkanismus. Diese Ablagerungen charakterisieren auch die tiefsten Teile der intrakontinentalen Ingressionsmeere und chemische Umsetzungen oder im Zusammenhang damit konkretionäre Neubildungen gehen reichlich vor sich.

Ein besonderer Fall ist die in allen Formationen seit dem Kambrium auftretende Glaukonitbildung, eines von Eisen grünlich gefärbten körnigen Sandes[1]), der an die Schelfregion und den Abfall zur Tiefsee gebunden ist und gelegentlich bis zu 2000 Faden Tiefe vorkommt. Seine Entstehung hat die Zerstörung von Urgebirgsgestein zur Voraussetzung; am Rande ozeanischer Vulkaninseln wird er ebensowenig gebildet, wie auf seichten küstenfernen submarinen Schwellen. Vielfach tritt er als Steinkern von Foraminiferengehäusen auf, aber er ist nicht an sie gebunden. Möglicherweise aber ist organische Substanz bei der Bildung der verschieden großen Glaukonitkörner beteiligt.

Im übrigen ist aber der Hergang der Entstehung in chemischer Hinsicht noch ebenso unklar, wie die Bildung sonstiger Konkretionen von Phosphat oder Pyrit, an denen natürlich auch die organischen Verwesungsprodukte, vielleicht auch deren Bakterien, unmittelbar beteiligt sind. Auch hierfür ein Beispiel:

Im Schwarzen Meere sind wegen seiner Abgeschlossenheit die Gewässer unter 230 m nicht mehr genügend ventiliert, darum an Sauerstoff arm und mit Schwefelwasserstoff angereichert. Der Steilabfall zum Tiefenbecken ist von einem zähen, hellgrauen bis schwarzen Schlick eingenommen, dessen Farbe von Eisensulfid herrührt, das sich in Körnchen oder Nädelchenform als Schwefelkies niederschlägt. Das Tiefenbecken selbst ist von einem blauschwarzen Schlick erfüllt, bald heller, bald dunkler, von helleren Klümpchen und Kügelchen durchsetzt, von Konkretionen kohlensaueren und phosphorsaueren Kalkes.

Richtige Strand- und Küstenablagerungen sind uns aus der geologischen Vorzeit verhältnismäßig selten und in geringer horizontaler Ausdehnung jeweils erhalten. Das ist leicht erklärlich, wenn wir bedenken, daß sie am leichtesten der nachträglichen Zerstörung ausgesetzt sind. Wird nämlich ein Land gehoben, so sind die unmittelbar zuvor gebildeten Küstenablagerungen der nunmehr in einem etwas tieferen Niveau einsetzenden Brandungsarbeit am meisten ausgesetzt, und auch vom Lande her wird durch die Verwitterung und Denudation an diesen Ablagerungen viel zerstört. Die Sedimente des tieferen Flachmeeres dagegen bleiben von solchen geringen Verschiebungen der Kontinentalsockel praktisch unberührt, wenn sie nicht über den Wasserspiegel hinausgehoben werden. Es lagern sich auf ihnen die neuen Sedimente der folgenden Zeit ab und schützen sie so erst recht vor späterer Zerstörung, wenn nicht gerade lokale Meeresströmungen einen Teil davon wegführen, wie das im Kanal oder in der bei Kanada gelegenen Fundybai der Fall ist, wo die starke Gezeitenströmung allen Sedimentabsatz wegfegt und sogar im harten Boden erosiv wirken kann. Nur bei Senkung des Kontinentalsockels, wenn sie schnell vor sich geht und eine zuvor gebildete Küstenablagerung rasch aus dem Wellenbereich in ruhigere Tiefe gerückt wird, hat sie Aussicht auf Erhaltung; anderen-

1) Murray, J. und Philippi, E., Die Grundproben der deutschen Tiefsee-Expedition. Bd. X der „Wissensch. Ergebn. d. deutschen Tiefsee-Expedition auf dem Dampfer „Valdivia" 1898—1899, Jena 1908, S. 175—178".

falls wird sie von der Wasserbewegung aufgearbeitet und gerollt und damit meist gänzlich zerstört. Die Aussicht auf Erhaltung gerade von Strand- und Küstenablagerungen ist darum relativ gering und dem entspricht, wie gesagt, die Seltenheit ihres Vorkommens in den vorweltlichen Sedimentreihen. Wo intensive und rasch verlaufende Transgressionen des Meeres über Festlandssockel stattfinden, und bei gleichzeitiger Zerstörung von Steilküsten und Aufbereitung des vom vordringenden Meere auf der Landoberfläche vorgefundenen, von der Erosion und Verwitterung vorbereiteten Materiales eine rasche Verlagerung der dabei gebildeten groben Trümmermassen in einige Tiefe unter den Wasserspiegel stattfindet, kommt es zur Entstehung eines Transgressions- oder Basalkonglomerates.

Aus allen Formationen kennen wir Küsten oder Basalkonglomerate, weil stets Transgressionen da und dort stattfanden und stets Küsten vorhanden waren, an denen das Meer seine Zerstörungskraft betätigte. Schon im Archaikum von Finnland und Nordamerika zeigen sich uns Küsten- und Transgressionskonglomerate; wir haben sie besonders schön im Karbon am Luganer See, wo sie das Abrasionsmaterial der ältesten Alpenfaltung bilden und trotz der Ei- bis Faustgröße der Stücke Landpflanzen enthalten; wir haben sie aber auch in einer eigentümlichen Modifikation im Perm von Australien und im Diluvium Schwedens, wo die Gletscher an den Meeresrändern erst kalbten und dort ihr Moränenmaterial gleichsam als ein Küstenkonglomerat marin zur Ablagerung brachten. Zuweilen können wir genau nachweisen, woher das Konglomerat stammt, besonders bei Transgressionen sehen wir es oft deutlich aus dem unmittelbar diskordant darunter anstehenden älteren Gestein zusammengesetzt, wie z. B. bei der kretazischen Gosauformation in der Reichenhaller Gegend, deren Meer an Küstenfelsen von triassischem Untersberger Marmor gebrandet ist, und darum besteht die basale Lage aus einem Rollkonglomerat dieses Gesteins. In anderen Fällen hinwiederum gelingt uns dieser Nachweis nicht, wie z. B. in den vielumstrittenen Flyschkonglomeraten der bayrischen Voralpen, welche aus „exotischen“ Gesteinen bestehen, die sich zwar hier und da mit alpinen vermischt zeigen, aber meistens aus unbekannten Quarziten und Quarzen bestehen, deren zuweilen kopfgroße Gestalt auf keinen allzu langen Transport schließen läßt, die also von einem nahen nördlichen Lande stammen müssen und darum für den Paläogeographen nur um so reizvoller sind.

Eigentümliche kegelförmige Absonderungen in den Tälern von Wellenfurchen, die Deecke entdeckte und die Andrée näher beschreibt und paläogeographisch auswertet[1]), sind durch ungleichmäßiges Absickern von Wasser in den Vertiefungen der Wellenfurchen entstanden, wobei das Vorhandensein von organogen-schlammigen Ansammlungen in diesen und eine hierdurch bedingte unterschiedliche Austrocknung eine Rolle spielt. Das Vorkommen von solchen Sandsteinkegeln wird aus dem kambrischen Nexösandstein von Bornholm, den Kohlenschichten des Unterdevon und dem kambrischen Potsdam-Sandstein in Nordamerika[2]) beschrieben. Fossile Fließwülste sind aus vielen Formationen bekannt.

1) Andrée, K., Über Sand- und Sandsteinkegel und ihre Bedeutung als Litoralgebilde. Geol. Rundschau, Bd. III, Leipzig 1912, S. 537—543. (Mit Tafel.)

2) Andrée, K., Verschiedene Beiträge zur Geologie von Canada. Schrift. Ges. Beförd. ges. Naturwiss., Bd. 13, Marburg 1914, S. 431—33.

Charakteristische Flachmeergesteine — wir vermeiden bei den fossilen den Ausdruck Schelfgesteine — aus unmittelbarer Nähe der Strandzone, jedoch schon außerhalb des Wellenbereiches abgelagert, sind etwa die groben quarzkörnigen Sandsteine des unteren fränkischen Lias, oder die grobkörnigen Partien des ostalpinen Flyschsandsteines. Weiter vom Lande weg und in größerer Tiefe, jedoch immer noch in einer eigentlichen Flachsee, dürften im allgemeinen Gesteine abgelagert sein, wie etwa der obersilurische Clintonsandstein New Yorks, der devonische Koblenz und Oriskanysandstein, die unter dem Namen Grauwacken bekannten, verschiedenalterigen paläozoischen, durch Kalkzement verbundenen Sandsteine, z. B. die böhmische Dalmanitengrauwacke des Devon, oder die der devonischen Hamiltongroup Nordamerikas, welche Landpflanzen enthält. Ein Beispiel für detritogene Kalkablagerung dürfte der obersilurische Girvankalk Schottlands sein. Im stillen Flachwasser und noch weniger vom Lande beeinflußt entstand der bekannte, so oft zu schwarzen Marmortischplatten verwendete belgische Kohlenkalk, dann etwa der ordovizische nordamerikanische Trentonkalk, die unteren geschichteten Weißjurakalke Frankens und, als charakteristische Mergelschlickablagerungen eines tieferen Epikontinentalmeeres, die Mergel und Mergelkalke des Lias und Dogger derselben Gegend, oder die gleichalterigen Liasfleckenmergel der Alpen. Typische farbige Schlicke der tiefsten Zonen von Flachmeeren sind die grünen obersilurischen Schiefer von Rochester (New York), die roten Seewenmergel der ostalpin-helvetischen Kreide oder die roten und braunen Tone des schwäbischen Lias und Dogger und des ostalpinen Flysch. Dagegen scheinen die oft stark versandeten pliocänen Cragtone Südenglands oder die mit Sandsteinen verkeilten Tonschiefer des stark terrestrisch beeinflußten jurassischen Mataura-Systems Neuseelands typische Schlicklager der Strandzone zu sein, ganz so, wie sie aus allerjüngster Zeit der neogene Marinton des Morsumkliffes auf Sylt uns zeigt. Ein charakteristischer Glaukonitgrünsand der tieferen Schelfregionen ist jener der alpinen und außeralpinen Mittelkreide, während mit Grauwacken zwischenlagernde Tonschiefer, wie die des Kambrium oder Silur, den etwas hin- und herschwankenden Übergang höherer und tieferer Schelfregionen selbst darstellen dürften. Einer sehr tiefen Zone, jedoch nicht der eigentlichen Tiefsee, sondern immer noch dem absteigenden Kontinentalrande gehören die bekannten altpaläozoischen dünnschichtigen Graptolithenschiefer an, die fast ganz ohne terrestren Einfluß zur Ablagerung gelangt sind, und hierher sind vielleicht auch zu rechnen die weißen kreidigen Kohlenkalke mit Hornsteinbändern der Moskauer Gegend oder der rotkalkige mit Hornsteinschlieren durchsetzte liassische Ammonitico rosso der Lombardei.

e) Die eupelagischen Ablagerungen.

Wo der steil abfallende Schelfrand sich rasch verflacht, beginnt die eigentliche Tiefseeregion. Im ganzen betrachtet, gleichen die großen ozeanischen Senken weiten Ebenen mit leichten Erhebungen und Einmuldungen, so daß hier niemals von jenen schroffen geomorphologischen Gegensätzen die Rede sein kann, wie auf dem Kontinentalklotz. Selbst schroffere Erhebungen, wie die eigentlichen Schwellen und Barren, rühren wohl weniger von einer primären Bodenkonfiguration her, als von vulkanischen Aufschüttungen, wie dies bei der bekannten, den Atlantischen Ozean nordsüdlich durchziehenden großen

Schwelle zutrifft. Es sind die Regionen vom Schelfrande bis zu den größten geloteten Tiefen von ca. 9000 m.

Das Material der Tiefseesedimente rührt nur zu einem ganz geringen Teile noch vom Festlande her, zum Teil etwa als schwimmende Bimssteine oder Glazialdrift, oder von Rutschungen der Kontinentalböschung. Vielmehr herrschen hier ausschließlich vulkanische und organogene und zu einem geringen Teile noch kosmische Stoffe. Das Wesentliche jedoch ist, daß in den größten Tiefen durch die infolge Kohlensäureaufnahme und starken Wasserdruckes andersgeartete chemische Auflösungsfähigkeit des Wassers sowohl kalkig-organische, wie vulkanische Materialien zersetzt werden und so ein ziemlich einheitliches Material, der rotbraune Tiefseeton entsteht. Dort aber, wo die Tiefe geringer ist, also vorzugsweise auf den Schwellen, Rücken und Hochplateaus, geht diese Zersetzung nicht vor sich und darum überwiegen dort die organischen Produkte, besonders der Foraminiferen (Globigerinen-), Coccolithen- und Pteropodenschlamm, während die rein kieseligen organogenen Radiolarien- und Diatomeenschlamme sowohl in den tiefsten, wie in den höheren Zonen rein oder vermischt mit anderen Materialien auftreten können. Die Entstehung des roten Tiefseetones ist immer noch nicht ganz bekannt; man vermutete, daß er im wesentlichen der unlösliche Restbestand der organogenen Stoffe sei, wofür die Analyse indessen keine Anhaltspunkte liefert, so daß man wohl annehmen darf, er rühre hauptsächlich von den zersetzten vulkanischen, terrigenen und kosmischen Stoffen her.

Mit Andrée können wir die Tiefseesedimente einteilen in kalkreiche, kalkarme und kalkfreie und zu den ersteren stellen: den Globigerinen- und Pteropodenschlamm, der dann durch Überwiegen der kieseligen Radiolarien und Diatomeen kalkärmer und kieselreicher, und durch Auflösung der Kalkschälchen zu dem kalkfreien reinen Kieselschlick oder roten Tone wird. Die Ablagerung des letzteren geht außerordentlich langsam vor sich; hat doch die Challenger-Expedition im Pazifischen Ozean in der oberflächlichen Schicht ein pliocänes Fossil, einen Riesenzahn von Carcharodon, gefunden. Zuweilen in den Tiefseesedimenten angetroffene Phosphat- und Manganknollen sind an Ort und Stelle entstandene konkretionäre Bildungen.

Es sind nur ganz wenige Beispiele sicherer, einwandfreier fossiler und als solche unmittelbar erkennbarer Tiefseebildungen nachgewiesen, die merkwürdigerweise aus der allerjüngsten geologischen Vergangenheit stammen. So beschreiben Jukes-Browne und Harrison von Barbados[1]) rote Tone, sowie Globigerinen- und Radiolarienschlicke, nach deren faunistischem Inhalte Brady, der Bearbeiter der Challenger-Foraminifera, in einem ebendort[2]) mitpublizierten Berichte Entstehungstiefen bis vielleicht 1000 Faden in Betracht zieht. Ein zweites Beispiel sind miocäne Kalkschlicke von Malta, in denen nach den Untersuchungen Murrays[3]) Foraminiferen auftreten, welche auf eine Ablagerungstiefe ebenfalls zwischen 500 und 1000 Faden schließen lassen und die im Verein mit darüberliegenden blauen Tonmergeln mit gleichartigen

1) Jukes-Browne, A. J. and Harrison, J. B., The Geology of Barbados. II. The ozeanic deposits. Quart. Journ. geol. Soc., Vol. 48, London 1892, S. 182ff.

2) Brady, H. B., Ibid, S. 195—198.

3) Murray, J., The Maltese Islands, with special reference to their geological structure. Scott. Geograph. Magaz., Vol. VI, Edinburgh 1890, S. 449—488 (2 Tafeln).

Formen und Coccolithen uns tatsächlich jungtertiäre Tiefseeablagerungen zeigen, was umso verwunderlicher ist, als ja das Mittelmeer und wahrscheinlich auch die Antillenregion, in der Barbados liegt, intrakontinentale Becken sind bzw. waren (vgl. Kap. V). Sehr zweifelhafte Tiefseeablagerungen und jedenfalls nur Absätze in einem ruhigen tiefen Wasser des Kontinentalsockels, wenig beeinflußt von terrestren Beimengungen sind dagegen die wegen ihres Foraminiferenreichtums früher für einen Tiefseeschlick gehaltene Schreibkreide mit ihren Feuersteinzwischenlagen und -konkretionen, die jurassischen Hornsteine und Radiolarite der Alpen, die auch in Kalifornien und Niederländisch-Indien wiederkehren[1]), und auch aus noch älteren, vielleicht vorpaläozoischen Formationen neuestens beschrieben worden sind[2]), ferner paläozoische Graptolithen- und Kieselschiefer und die kambrischen blauen Tone des Balticums. Was die Rügen'sche, durch Norddeutschland, Südengland und Westfrankreich verbreitete Schreibkreide anbelangt, so ist sie u. a. von HUXLEY und ZITTEL[3]) für ein dem rezenten Globigerinenschlamm homologes Sediment gehalten worden, und auch GROSSOUVRE[4]) nimmt an, daß die Kreide am Kanal in mindestens 1000 m Tiefe abgelagert worden sei, was jedoch noch nicht besagen will, daß sie eine Tiefseeablagerung in unserem Sinne ist, aber ihr Korn und ihr Fossilinhalt sprechen für tiefes Stillwasser. CAYEUX sieht sie für terrigen an[5]), wofür der Mineralgehalt und ein großer Teil der Fossilien spricht; sie wäre also eine Ablagerung eines flachen stillen küstennahen Wassers, und WALTHERS[6]) Ansicht geht unter Hinweis des Vorkommens von Austern (Gryphaea) ebendahin. Die Verknüpfung mit Grünsand, auf die WALTHER hinweist, spricht für größere Tiefen als 200—300 m (vgl. S. 211), und es könnte sein, daß die Kreide sogar in geringerer Tiefe als manche Grünsande zur Ablagerung gelangt ist. Jedenfalls zeigt eine Analyse der Fauna — und dies ist das Entscheidende —, daß weder die teilweise die Kreide zusammensetzenden Foraminiferen solche der Tiefsee sind, noch daß die makroskopischen Fossilien wie Austern, Inoceramen anderswo, denn im Flachmeere gelebt haben. Das Auftreten heutiger „Tiefsee"-Echiniden, wie Pentacrinus oder Salenia, darf nicht irre machen, weil erst seit etwa der Kreidezeit die heutige Tiefsee vom stillen Flachwasser aus besiedelt worden sein könnte.

Die alpinen kretazischen Couches rouges und die oberjurassischen Radiolarite, spricht STEINMANN auch als Tiefseesedimente an[7]). Da

1) MOLENGRAAFF, G. A. F., Über ozeanische Tiefseebildungen von Zentral-Borneo. Nach Referat No. 2036 im Geol. Zentralbl., Bd. XIII, Leipzig 1909/10, S. 712ff.

2) ANDRÉE, K., Verschiedene Beiträge zur Geologie von Canada, a. a. O. S. 437 ff.

3) ZITTEL, K. A., Die Kreide. Berlin 1876.

4) GROSSOUVRE, A. DE, Sur les conditions de dépôt de la craie blanche. Ann. Soc. géol. du Nord, Tome XX, Lille 1892, S. 1ff.

5) CAYEUX, L., La craie du nord de la France et la boue à Globigérines. Ibid., Tome XXI, 1891, S. 95—102.

— La craie du nord est bien un dépôt terrigéne. Ibid., S. 252—262.

6) WALTHER, J., Geschichte der Erde und des Lebens, Leipzig 1908, S. 446 bis 448.

7) STEINMANN, G., Geologische Beobachtungen in den Alpen. II. Die SCHARDT'sche Überfaltungstheorie und die geologische Bedeutung der Tiefseeabsätze und der ophiolitischen Massengesteine. Ber. Naturf.-Ges. Freiburg i. B., Bd. XVI, 1905, S. 18—67.

Digitized by Google

die Couches rouges, die zuweilen auch grau und schwärzlich sind, Inoceramen, Belemniten und Foraminiferen enthalten und auch von außerordentlich feinem Korn sind, so scheinen sie ein völliges Homologon zur Kreide zu sein, zumal auch sie stellenweise mit Glaukonitgrünsand verknüpft sind. Auch hat die Untersuchung der Foraminiferen durch EGGER ergeben[1]), daß diese mit denen der Schreibkreide übereinstimmen, so daß beide Gesteine ein gewiß nicht der Tiefsee angehöriger Schlick gewesen sein dürften, der im alpinen Meere vielleicht nur aus klimatischen Gründen rot gefärbt wurde, ebenso wie viele Juragesteine und der nachher gleich zu besprechende Flyschton. Ähnlich steht es auch mit den Juraradiolariten im ostalpinen Gebiete. In den nördlichen Kalkalpen findet sich über dem in der sogenannten Aptychenschieferfazies entwickelten und mit reinen Hornsteinen reichlich durchsetzten oder ganz von ihnen vertretenen oberen Jura ein das Neokom repräsentierender hellerer Kalkschiefer mit ebensolchen Hornsteinbändern. Sowohl infolge des Vorkommens von Radiolarien in diesen (daher auch Radiolarit genannten) Hornsteinen, sowie infolge der merkwürdigen Erscheinung, daß meist alle Ammonitenschalen verschwunden und nur deren konsistentere Kalkdeckel, die Aptychen, erhalten sind, nahm man diese Ablagerungen für solche der „Tiefsee“, in der ja einerseits so hoher Wasserdruck herrscht, daß die hierdurch stark gebundene Kohlensäure alle Kalkschalen auflöst, andrerseits reine Radiolarienansammlungen, weil sie kieselig sind, nahezu ausschließlich vorherrschen. Nun findet man aber unmittelbar damit verknüpft und in regelmäßigen Zwischenlagen eingeschaltet richtige grobe klastische Sandsteinarkosen, um nicht zu sagen Konglomerate, die ganz gewiß ziemlich unmittelbar terrigener Entstehung sind und die man, isoliert gefunden, der Strand- und Küstenregion zuschreiben würde.

Nach der Annahme v. PIAS[2]) hätte der Tiefseecharakter der oberjurassischen alpinen Aptychenschichten mit ihren Hornsteinen darin seinen Grund, daß im Jura weit und breit keine höheren Gebirge mehr vorhanden waren, so daß in einiger Landferne schon der Zufluß von terrigenem Material so gut wie ganz aufhörte und daher trotz geringer bathymetrischer Tiefe nur Sedimente von bathyalem Charakter zur Ablagerung kamen. Daß in den Aptychenschichten die Molluskenschalen aufgelöst sind, bräuchte danach kein Zeichen starken Tiefendruckes der Wassersäule zu sein, sondern sie kann, wie Beobachtungen erweisen, bei genügend langem Unbedecktsein auch in seichterem Wasser erfolgen. UHLIG dagegen[3]) sieht die jurassischen alpinen Radiolarite „mindestens als Übergang in abyssische Sedimente“ an; auch ANDRÉE neigt vorerst nach Untersuchung paläozoischer oder vielleicht vorpaläozoischer Radiolarite aus den kanadischen Appalachen dazu, sie als Tiefseeablagerungen im Sinne STEINMANN's anzusehen[4]). Daß allerdings die alpine oder appalachische Geosyn-

1) EGGER, J. G., Die Foraminiferen der Seewener Schichten. Sitz.-Ber. Königl. Bayer. Akad. d. Wiss. (math.-naturw. Kl.), München 1909, S. 1—52.

2) VON PIA, J., Geologische Studien im Höllengebirge und seinen nördlichen Vorlagen. Jahrb. k. k. Geol. Reichsanst., Bd. 62, Wien 1912, S. 581.

3) UHLIG, V., Die marinen Reiche des Jura und der Unterkreide. Mitteil. d. Geol. Ges., Bd. IV, Wien 1911, S. 334.

4) ANDRÉE, K., Verschiedene Beiträge zur Geologie von Canada, a. a. O. S. 437—50.

klinale jemals Tiefsee nach Art der heutigen ozeanischen gewesen sein könnte, scheint mir nach den auf S. 138 ff. gemachten Darlegungen unwahrscheinlich.

Die paläozoischen Kieselschiefer, deren Kieselgehalt ebenfalls von Radiolarien herkommt, und denen man z. B. noch gleichartige Gesteine des ostalpinen Lias an die Seite stellen könnte, sind zweifellos ebenfalls in ruhigem, tiefem Wasser abgesetzt worden; zu einer Bezeichnung als Tiefseeablagerung im obigen Sinne fehlt aber jede Berechtigung, da sie einen ganz anderen petrographischen und faunistischen Charakter aufweisen als die rezenten Tiefseebildungen[1]). Koken erklärt die Entstehung der Kieselschiefer des Kulm so, daß unter Druck gehaltene Kohlensäure die Sedimente entkalkt und daß möglicherweise jenen Ablagerungen durch vulkanisch geförderte Kohlensäure ihr Kalkgehalt entzogen und eine Anreicherung des kieseligen Materiales herbeigeführt wurde[2]).

Im Flysch der Ostalpen finden sich als schmale Bänder vielfach purpurrote, außerordentlich feine Tone, die man vielleicht als Produkte großer Tiefen ansprechen könnte. In der tertiären Sandsteinzone der Karpathen, die dem Flysch entspricht, treten sie ebenfalls auf, führen dort auch noch Foraminiferen, so daß der erste Eindruck der einer Tiefseebildung ist. Noth, der die Foraminiferen untersuchte[3]), kommt jedoch zu dem Resultate, daß diese roten Foraminiferentone noch ganz im Bereich der Kontinentalschlammzufuhr entstanden seien, und zwar seien sie ein Analogon des im heißen Klima auftretenden Rotschlickes, abgelagert in etwa 500 Faden Tiefe.

Wie bei den aus Foraminiferen zusammengesetzten Kreidegesteinen, so muß man auch bei Radiolariengesteinen stets die Möglichkeit einer Entstehung in der Flachsee im Auge behalten, weil es rezente Beispiele dafür gleichfalls gibt. Ein solches ist im Abschnitt über das Permanenzproblem (S. 175) erwähnt, und ein weiteres gibt Scrivenor aus Ostindien an[4]). Wenn besondere Bedingungen herrschen, entwickelt sich auch in der Flachsee ein reiches Radiolarienleben. Wenn größere Mengen von Kieselsäure im Meerwasser gelöst sind und zudem noch solche durch Verwitterung von Kieselgestein zugeführt wird, so entwickeln sich die Radiolarien auch stark in der Flachsee. Reichlicher Kalkgehalt (Kieselkalke!) in Radiolariengestein ist geradezu ein Beweis, daß dasselbe nicht seinen Ursprung in der Tiefsee hat.

f) Modifikationen und andersartige Fazies dieser Typen.

Erwähnt wurde schon, daß Korallenriffe und -rasen in der Nähe des Strandes, wie auch draußen in der tieferen Flachsee oder dort, wo sie aus bedeutenden Senken heraufwachsen, zu einer eigenartigen Sedimentbildung Anlaß geben. Es entsteht ein Kalksand, der in seinem

1) Andrée, K., Stetige und unterbrochene Meeressedimentation, a. a. O. S. 375ff.

2) Koken, E., Indisches Perm und die permische Eiszeit. N. Jahrb. f. Mineral., Festband, Stuttgart 1907, S. 534/535.

3) Noth, R., Die Foraminiferen der roten Tone von Barwinck und Komarnók. Beitr. z. Geol. n. Paläontol. Österr.-Ung. u. d. Orients, Bd. XXV, Wien 1912, S. 1—24.

4) Scrivenor, J. B., Radiolaria-bearing rocks in the East-India. Geol. Magaz. Dec. V, Vol. 9, London 1912, S. 241—248.

Anfangsstadium aus ganz groben, zum Teil noch unzerbrochenen Schalen- und Korallenskelettstücken besteht, dann aber bei weiterer Aufarbeitung außerordentlich fein wird. Es kann so letzten Endes derselbe Kalk zustandekommen, wie in der normalen tieferen Region, nur zeichnet sich der Korallenkalkschlick meist dadurch aus, daß er in der Nähe des Riffes nicht horizontal, sondern seitwärts vom Riff aus absinkend — in Form der sogenannten Übergußschichtung sedimentiert ist. Etwas Ähnliches fand auch an den mächtigen Schwammriffen der Jurazeit statt.

Man kennt auch Ausnahmen von der Regel, daß Tiefseesedimente nicht detritogener Natur sind. Durch die deutschen Tiefseeforschungen des „Gauß" und der „Valdivia" wurden mitten im Atlantischen Ozean unter dem Äquator, sowie südwestlich von Südafrika unter dem Wendekreis Mineralsande gefunden, deren Vorkommen nach den Darstellungen von Philippi weder aus der Zerstörung vulkanischer Aufragungen, noch aus glazialen Einschwemmungen, noch durch Windtransport vom Festlande her erklärbar ist, so daß nur die Annahme übrig bleibt, sie rührten von der Zerstörung kleiner Klippen festen Urgesteines nach Analogie des St. Pauls-Felsens her. Derartige Felsen werden allmählich bis etwa 200 m Tiefe von der Brandung bzw. Wellenbewegung zerstört und dann sind sie wegen ihrer Schmalheit durch Lotungen nur zufällig zu finden. Von ihrer Zerstörung dürften sich daher solche Tiefseesande ableiten[1]).

Eine weitere Modifikation der vorher besprochenen typischen Sedimentbildungen bedingen die vulkanischen Ausbrüche, welche teils als terrestre in Form von Aschenregen, Auswürflingen oder ins Meer ergossenen Laven, teils als submarine eine Sedimentation ihrer Produkte veranlassen, wofür wir in den marinen Kassianer Triastuffen oder in den marinen Tertiärtuffen der Südalpen ausgezeichnete Beispiele haben. Es wird in vielen Fällen schwer sein, aus ihrem petrographischen Charakter auf die Tiefe ihrer ehemaligen Ablagerungszone Rückschlüsse zu ziehen; hier entscheidet entweder die Verzahnung mit normalen Sedimentgesteinen oder der Fauneninhalt. Auch kann das Material so aufgearbeitet werden, daß es sich — als solches unkenntlich — an der Zusammensetzung anderer Sedimente beteiligt. Es wird auch gelegentlich zur Bildung von mehr oder minder groben Mineralsanden Anlaß geben können in Regionen, wo normalerweise kein grobkörniges Sandmaterial mehr auftreten kann.

Zu den Flachmeerablagerungen bzw. -bildungen gehören auch die Oolithe, in gewissem Sinne als Konkretionen zu bezeichnen. Um kleine Körperchen, Schalensplitter etc. herum scheidet sich, wahrscheinlich unter Mitwirkung organischer Fäulnisprozesse, aus dem Meerwasser Kalk aus; selten sind sie innen hohl; doch gibt es auch noch andere Möglichkeiten der Entstehung dieser mannigfaltigen Bildungen. Es sind Konkretionsbildungen im kleinen und zugleich in oft ungeheueren Massen, wovon der europäische Jura früher den Namen Oolithformation führte, in dem man Eisenoolithe und Kalkoolithe unterscheiden kann. Im deutschen Muschelkalk sind die Kalkoolithe zuweilen ganz oder teilweise diagenetisch in Kieseloolithe umgewandelt[2]).

1) Philippi, E., Problem der Schichtung, a. a. O. S. 364—372.

2) Hohenstein, V., Beiträge zur Kenntnis des mittleren Muschelkalkes etc., a. a. O. S. 208/209.

Digitized by Google

Auch die schon erwähnte Durchsetzung der Sedimente mit **Konkretionen** und **Metallen** gehört hierher, letzteres natürlich nur soweit, als sie primär, wie vielleicht in den permischen Kupferschiefern von Thüringen, in den Schichtlagen vorhanden, nicht durch spätere Infiltration hineingelangt sind. Die Konkretionen (Kalk, Kieselsäure, Phosphat, Mangan, Pyrit) entstehen entweder durch eine Art Anlagerung um einen Fremdkörper herum oder durch einen noch unaufgeklärten eigentümlichen Affinitätsvorgang, bei dem sich die im Sediment ziemlich gleichartig und sehr feinverteilten Stoffe durch die Poren des Gesteins an gewissen Konzentrationspunkten zusammenziehen — ein Vorgang, der ein Analogon in der Eisentechnik zu haben scheint, wo sich die außerordentlich geringen und feinverteilten Kohlenstoffmengen bei unsachgemäßem Abkühlen von Stahlblöcken in deren Zentrum anreichern und den Kern des Klotzes dadurch brüchig machen.

Anders als durch Affinität sind jene Konkretionen zu erklären, die im Innern ein Fossil enthalten, wie die bekannten Knollen in den Lebacher Permschiefern [1]). Hier beobachtet man keine konzentrische Struktur, sondern eine normale Sedimentation. Die Knollen sind gewissermaßen ein verhärteter Ausschnitt des Sedimentes. LIESEGANG erklärt dies folgendermaßen: Im Wasser zugeführte Sulfatsalze wurden durch die Verwesung des Tierkörpers in Sulfide übergeführt. Die Sedimentation ging weiter und später entstand durch Oxydation lösliches Eisenvitriol, das sich zonenförmig um das Fossil herum im Gestein kapillar ausbreitete, das im Sediment enthaltene Karbonat zu Eisenkarbonat umwandelte und so in seiner Reichweite das Gestein verhärtete.

Die Erscheinung, daß in den vorweltlichen Sedimenten sulfidische Konkretionen unverhältnismäßig viel häufiger sind, als in den jetztweltlichen, deutet PHILIPPI durch die größere Sauerstoffarmut früherer Meerestiefen infolge Abwesenheit der polaren Vereisungen [2]) — ein Gesichtspunkt, auf den wir bei Besprechung der fossilen Tiefseesedimente noch einmal zurückkommen müssen. ANDRÉE stellt zur Erwägung [3]), daß größere Mengen von Schwefelkies deshalb fehlen könnten, weil die konkretionäre Zusammenballung erst nach Überdeckung durch spätere Sedimente und unter Abschluß von der direkten Berührung mit dem Meerwasser in den betreffenden Schichten stattfänden.

Endlich seien noch die glazialen Einschüttungen erwähnt. Wenn wir Gletschermaterial antreffen in ozeanischen Regionen, die zweifellos von Eis frei sind, wie z. B. das Meer nordöstlich und westwärts der Azoren [4]), so müssen wir annehmen, daß es diluviale Eisberge waren, die hier ihr Material noch ablagern konnten, und vielleicht ist die Flachheit der Ostsee und der Hudsonbai eine direkte Folge der

---

1) LIESEGANG, R. E., Die Entstehung der Lebacher Knollen. Centralbl. f. Mineral. etc., Bd. XIII, Stuttgart 1912, S. 420—424.

2) PHILIPPI, E., Über das Problem der Schichtung und über Schichtbildung am Boden der heutigen Meere. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. 1908, Bd. 60, S. 360.

3) ANDRÉE, K., Die Diagenese der Sedimente etc., a. a. O. S. 122.

4) KRÜMMEL, O., Ozeanographie, Bd. I, S. 188 u. 167.

Digitized by Google

diluvialen Aufschüttungen[1]); während die vielen glazialen Trümmermassen im Kopenhagener Sund, wo ein am Grunde ruhendes Wrack schon nach 37 Jahren von Steinmassen überschüttet war, wie es auch auf der Neufundlandbank der Fall ist, von dem jetztweltlichen Treibeis herrühren. Diese Tatsachen sind für den Paläogeographen besonders beachtenswert, weil sie vor übereilten Schlüssen warnen.

4. Die Land- und Süßwasserablagerungen.

Die Genesis der Landablagerungen ist sowohl inbezug auf das Ablagerungsmedium, wie auf die den Absatz unmittelbar herbeiführenden Agentien der Hauptsache nach anders geartet, als die der Marinsedimente. Die Entstehung jener und der Absatz dieser sind gewissermaßen die zwei konträren und zeitlich einander folgenden Momente im großen Kreislauf der Stoffe, welcher gewissermaßen nur der erweiterte Kreislauf des Wassers ist, unterhalten durch die fortwährende Umsetzung von Land und Meer. Meeresablagerungen bilden den Schluß, Landablagerungen ein früheres Durchgangsstadium in dem großen Erosionszyklus.

Die Gelegenheit, sich mit Landablagerungen zu befassen, kehrt für den Paläogeographen relativ selten wieder, teils weil sie nicht so häufig erhalten sind, wie die marinen, teils auch weil sie ihrem Alter nach meist schwierig zu fixieren sind und vielfach eine so genaue stratigraphische Datierung nicht vertragen. Unsere Zeittabelle ist eben rein auf marine Ablagerungen und Faunen gegründet.

Die Einteilung der Landablagerungen kann nicht, wie die der Meersedimente, in erster Linie nach dem geomorphologischen bzw. orographischen Niveau geschehen; vielmehr muß hier das ablagernde Medium, dessen Charakter von den klimatischen und meteorologischen Verhältnissen ausschlaggebend beeinflußt wird, ja gewissermaßen mit ihnen identisch ist, ferner die das Material herrichtenden und umsetzenden Agentien zur Grundlage einer natürlichen, speziell für paläogeographische Zwecke brauchbaren Systematik verwendet werden. Aber je nach dem, was gerade für den untersuchenden Paläogeographen im Vordergrunde des Interesses steht, wird der eine oder andere Faktor brauchbarer zur Einteilung erscheinen. Wir teilen daher zunächst einmal in folgende Hauptgruppen nach dem Milieu und differenzieren diese dann später wieder, wie die Marinablagerung, nach den tributären Faktoren.

I. Rein terrestre subaërische Ablagerungen:
 a) subaërische und äolische;
 b) glaziale als Übergang:

II. Ablagerungen im fließenden und stehenden Wasser:
 a) fluviatile, längs des Stromes gebildete;
 b) fluviatile, an der Mündung gebildete;
 c) lakustre und limnische Bildungen.

III. vulkanische Ablagerungen:
 a) trocken abgesetzte;
 b) fluviatil oder limnisch abgesetzte.

---

1) Supan, a. a. O. S. 269.

Obwohl natürlich vulkanische Produkte nur rein terrestrisch im Sinne von I sind, können sie doch nicht als Spezialfall etwa dazu gestellt werden, weil ihr Material ebensogut in einen See geraten und dort als lakustres Sediment zum Absatz gelangen kann. Unter Rubrik Ia gehören also z. B. Ablagerungen, wie Verwitterungsschuttkegel, Bergrutsche und die Bildung von Verwitterungserden, die auch in Wüsten vor sich gehen. Die Sinterbildungen der Geysire kann man zum Vulkanismus rechnen, weil den Paläogeographen nicht das Material und seine Chemie, sondern das bei seiner Entstehung wirksame vulkanische Moment interessiert. Aber Tropfsteinbildungen und der um Moose, Reisig und Blätter durch Verdampfung von Wasser sich abscheidende Wiesentuff ist ein Grenzprodukt von I und II.

Die einzelnen Ablagerungen der Rubriken I—III lassen sich dann spezieller charakterisieren als mechanische, chemische, organogene, die ersteren wieder als aquatische und äolische, gelegentlich auch als vulkanisch-aquatisch, wenn vulkanische Materialien ins Wasser geraten und fluviatil verlagert werden.

Fluviatile Sedimente bestehen vorzugsweise aus Geröll und Sand und dem aus der Denudation oder durch Zerreibung von Geröll gewonnenem Kalk und Tonschlamm. Lagen von solchen sind meist miteinander verkeilt und unregelmäßig kreuzgeschichtet, die fluviatilen Sedimente sind also durch einen von der stärkeren oder schwächeren Wasserkraft und dem Gefälle abhängigen unregelmäßigen Wechsel groben und feinen Materiales charakterisiert. Schlamm wird in einem fließenden Wasser — höchstens in sehr breiten, seeartig erweiterten trägen Strömen — direkt nicht abgesetzt, sondern in stillen Buchten, stehenden Altwässern und Seen. Die letzteren zeigen an ihren Rändern meist ein gröberes Material und an der Einmündung der Flüsse Deltabildungen[1]). An ihrem Boden bildet sich oft Sapropel, d. i. ein mit organischen Massen stark durchsetzter Faulschlamm, der zuweilen bituminös wird und infolge der organischen Zersetzungsprozesse zur Bildung von Konkretionen oder Faulschlammkohlen (Gagat) Gelegenheit gibt[2]).

Ein spezieller Fall sind die Ansammlungen von Treibholz, das allmählich zerfällt oder subaquatisch verkohlt; ferner die Torfbildung, welche durch Überwachsen stehender Gewässer mit Moosen und Heidekraut und dessen Verkohlung in allmählichem Dickenwachstum zustandekommt.

Die vulkanischen Ablagerungen bestehen aus übereinander geflossenen Lavaströmen oder aus Tuffen und Aschen, vermischt mit Lapilli und Bomben, alles bald wechsellagernd, bald reinlich geschieden. Sprudelsteine aus heißen Quellen, Travertin, Kieselsinterbildungen aus Geysiren, oder Salz- und Schwefelausblühungen sind die sekundären Beigaben zu diesen Gesteinen.

Eine Anzahl ganz spezieller, auch in Sedimenten der Vorzeit vielfach anzutreffender Bildungen sind charakteristisch für terrestre bzw. in Süßwasser entstandene Ablagerungen. Da sind zunächst die oolithischen Rogensteine zu erwähnen, die im deutschen Buntsand-

1) Außer der schon genannten speziellen Literatur über Delta- und Flußablagerungen sei noch nachgetragen: Credner, H., Die Delten. Peterm. Geogr. Mitteil., Erg.-Heft Nr. 56, Gotha 1878, S. 1—74.

2) Potonié, H., Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe etc. Berlin 1910, S. 51ff.

stein auftreten und nicht, wie größtenteils die marinen Oolithe, unter Zuhilfenahme verfaulender organischer Substanzen, sondern aus übersättigten Kalklösungen entstanden sind[1]). Weiter sind für Festlands-, gelegentlich auch für Strandbildungen, die lange trocken liegen, neben den schon genannten Wellenfurchen noch Trockenrisse, Tierfährten, Regentropfeneindrücke, Steinsalzpseudomorphosen charakteristische Erkennungszeichen.

Als charakteristisches Verwitterungsprodukt für die Tropen muß der Laterit gelten, ein Sammelbegriff für heterogene, aber stets rote bis rotbraune Verwitterungsprodukte, die hart bleiben oder zu Erde zerfallen und von den Flüssen und Strömen, zum Teil auch vom Winde, in das Meer transportiert werden. Etwas Ähnliches, jedoch nicht an die Tropen gebunden, ist die Roterde.

Die charakteristischen Glazialbildungen bestehen aus Moränenschuttmassen mit ihren in Sand und Zerreibsel eingebetteten gekritzten und polierten großen und kleinen Gesteinsmassen, aus feinen schlammigen bis sandigen Ablagerungen in gestautem Schmelzwasser, aus glazialfluviatilen Schottern und geschliffenen Böden oder Auskolkungen des festen Untergrundes.

Äolische Ablagerungen sind in den Steppen oder in sonstigen vegetationslosen Gebieten der Lößstaub oder die Sanddünen am Meeresstrande und in den Wüsten. Sie bestehen aus dem vom Winde erfaßten, aufgehäuften und immer wieder weitergewebten Sandmaterial, das auf dem Lande durch die Verwitterung, am Meere durch die Tätigkeit der Brandung entstanden ist. Dreikanter und Kreuzschichtung sind hier besonders charakteristisch. Freilich ist nach Kindle Kreuzschichtung allein auch kein unbedingtes Kriterium für Land- oder fluviatile Ablagerungen[2]), denn unter geeigneten Umständen, z. B. bei Ausfüllung schroffer Unebenheiten, oder Anlagerung von Material an submarine Felszüge, oder bei Rutschungen, die unter solchen Verhältnissen eintreten können, bei Strömungen und tiefer Wellenwirkung mag primär und sekundär oft genug Kreuzschichtung auch im Meere entstehen, wobei von submarinen vulkanischen Aufschüttungen ganz abgesehen sei. Fossile Windschliffe bzw. Dreikanter sind seit langem schon aus dem unterkambrischen Fucoidensandstein bei Lugnas in Südschweden durch Nathorst[3]) bekannt geworden.

Für Wüsten besonders bezeichnend ist als Verwitterungserscheinung die Wüstenschwärzung, dunkle braunschwarze bis rotschwarze Verwitterungsrinden, die sich über eisen- oder manganhaltigen Gesteinen bilden. Kieselsteinsplitter und ungerundeter, nur von der Insolation erzeugter kantiger Schutt sind neben den schon erwähnten Sandaufhäufungen charakteristisches Wüstenmaterial; Rippelmarken sind auch hier gelegentlich vorhanden, genau wie am Strande der Seen und Meere, nur daß sie im ariden Klima in den Sandablagerungen direkt durch den Wind entstehen ohne Vermittelung von Wasser. Salzseen und Salz- oder Gipsablagerungen sind weitere wichtige Kennzeichen der

1) Andrée, K., Die paläogeographische Bedeutung sedimentpetrographischer Studien Peterm. Geogr. Mitteil., Jahrg. 59, Gotha 1913, S. 120 u. 186. Dortselbst auch Literaturangaben.

2) Kindle, E. M., Cross-bedding and absence of fossils considered as criteria of continental deposits. Amer. Journ. Science, Vol. XXXII, 4. Ser., New Haven 1911, S. 225—230.

3) Nathorst, A. G., Sveriges Geologi etc., Stockholm 1894, S. 137 (Mit Abb.).

Wüstennatur einer Gegend. Salz und Gipsniederschläge entstehen dann, wenn in einem terrestren Salzsee oder in einem Inlandmeere das Wasser stark verdunstet und wenn in demselben Maße Zufluß von neuem, salzhaltigem Wasser stattfindet.

Äußere Unterschiede zwischen Sanden, die durch Insolationswirkung entstanden sind, und solchen, die von Wind, und schließlich solchen, die von Wasser transportiert wurden, gibt FREE an[1]). Die ersteren sind eckig, die von Wind und Wasser bearbeiteten dagegen rund. Aber die äolische Rundung ergreift noch Partikel, die so klein sind, daß sie im Wasser suspendiert und daher nicht mehr abgerundet werden. Dieses Merkmal lasse sich daher zur Erkennung lößartiger Ablagerungen benützen, deren feinste Sandstaubkörner gerundet seien.

Ausgezeichnete fossile Land-[2]) bezw. See- und Flußablagerungen bietet uns etwa das paläozoisch-mesozoische indische Gondwana-System, eine 2—3000 m mächtige Folge von Konglomeraten, groben und feinen Sandsteinen, Tonschiefern; Pflanzenreste und Kohlenlager sind dazwischen eingeschaltet, Reste von Landreptilien und -amphibien finden sich darin. Ablagerungen mächtiger oft zu Seen erweiterter Flußsysteme, vergleichbar dem sich stets auf ungehenere Entfernungen hin verlagernden Hoangho in China, dürften Anlaß zur Ablagerung des mittelpaläozoischen Oldredsandtone in England und Skandinavien Anlaß gegeben haben, in dem lakustre Krebse und Fische gefunden werden. Reine Landablagerungen können sich an ein und derselben Stelle, wenn das Meer gänzlich fernbleibt, nicht nur in beträchtlicher Mächtigkeit, sondern auch mit einer durch Äonen gleichbleibenden Fazies entwickeln, wenn eben aus einem petrographisch sehr einheitlich zusammengesetzten Tributärgebiet lange Zeiten hindurch die denudierenden Kräfte gleichartiges Material zuführen und das zuvorgebildete immer wieder umgelagert wird. Hierfür scheinen die postkarbonen Kontinentalablagerungen des Tianschan, wo vom Jungpaläozoikum bis jetzt immer wieder rote Sandsteine sich bildeten, ein treffliches Beispiel zu sein[3]).

Als großartigstes Beispiel einer durch lange Epochen hindurch ausgedehnten Wüstenbildung steht durch PASSARGES Untersuchungen die südafrikanische Kalahari[4]) vor uns, zugleich die Geschichte einer uralten Kontinentaloberfläche bietend. Der südafrikanische Kontinentalsockel erlebte zuerst in archäischer Zeit gewaltige Gebirgsfaltungen, worauf eine lange Abtragungsperiode folgte mit gleichzeitiger Ablagerung terrestrer Schichten, die in Transvaal aus Schiefern, Quarziten und Rippelmarklagern bestehen[5]). Es kommen dann schwer zu durchschauende Zeiten teils terrestren, teils marinen Charakters, und zur Silurzeit erneute Gebirgsbildung, dann Abtragung und randliches Eindringen des Devonmeeres. Es ist dies der Gondwanakontinent, der

1) FREE, E. E., The movement of soil material by the wind. U. S. Depart. Agriculture. Bull. No. 68, Washington 1911, S. 69/70.

2) Die Landablagerungen des nordamerikanischen Paläozoikums hat GRABAU zusammengestellt. Continental formations in the northamerican paleozoic. Compt. rend. X. Congr. géol. intern. 1910, Fasc. II, Stockholm 1912. S. 997—1003.

3) LEUCHS, K., Über die Entstehung der kontinentalen Ablagerungen des Tianschan. Centralbl. f. Mineral. etc., Stuttgart 1914, S. 23.

4) PASSARGE, S., Die Kalahari. Versuch einer physisch-geographischen Darstellung der Sandfelder des südafrikanischen Beckens, Berlin 1904, Kap. 32.

5) HATCH, F. H. and CORSTORPHINE, G. S., The geology of South Africa, 2. Edit., London 1909, S. 32/33.

von da ab frei von jeglicher Meeresingression blieb, alsbald die permische Eiszeit und im Kaplande eine spätpaläozoische Gebirgsfaltung erlebte. Es bildeten sich triassisch-jurassische Landablagerungen lakustrer, fluviatiler und äolischer Natur und dann, unter vorübergehender randlicher mariner Kreideingression, die heutige Oberflächenausgestaltung — vom Karbon ab unter terrestren Einflüssen. Es bildeten sich nach der Permeiszeit vom Mesozoikum ab kieselige, kalkige, sandige und lateritische Ablagerungen (Botletleschichten) von nicht über 30 m derzeitiger Mächtigkeit. Mergel, Salzmergel, Kalktuffe, verschiedenfarbige humöse Sandsteine und als oberste Bildung der Kalaharisand, aus aufgearbeitetem Untergrund bestehend. Jetzt im Alluvium bildet sich der Decksand, den Ameisen und sonstige bodenbewohnende Tiere durch Heraufbeförderung tieferer Lagen und Vermischung des Materials erzeugen. Zur Entstehung aller genannten nachpaläozoischen Schichten trugen bei: 1. eine mesozoische Wüstenperiode mit Lösungsvorgängen von Kieselsäure und erneute Absetzung derselben. Für jene Wüstenverwitterung sprechen u. a. die aus jener Zeit datierenden Inselberge; 2. eine darauffolgende Periode der Halbwüstenbildung mit Entstehung von Kalken und Sanden, teils subaërisch, teils lakustrisch, teils in etwas angesalzten Brackwasserseen unter Vermehrung der Niederschläge; 3. eine Pluvialzeit mit reichlicher Tätigkeit fließenden Wassers, Ausbreitung der zuvor gebildeten Materialien und äolischen Wirkungen. Dann folgt die Neuzeit unter Bildung des oben erwähnten Decksandes.

Vorweltliche Glazialablagerungen sind zum Teil in ungeheurer Ausdehnung an der Grenze von Kambrium und Präkambrium, im Perm und Diluvium mit allen ihren charakteristischen Erscheinungen bekannt. Die diluviale Nagelfluhe bietet nicht nur ein Beispiel für Glazialschotter, sondern auch für Versinterung der Gerölle zu einem harten Beton; die südafrikanischen permischen Dwyka-Konglomerate für uraltes Moränenmaterial.

Anhaltspunkte für tropisches Verwitterungsmaterial in der Vorzeit liefern uns Marinsedimente, wie die Adnether roten Liaskalke der Nordalpen, und auch in den lithographischen Schiefern von Franken will Walther Lateritspuren nachgewiesen haben, die hier durch den Wind hineingetragen worden wären. Äolische Kreuzschichtung zeigt sich reichlich im west- und mitteldeutschen Buntsandstein, in dem auch äolische Rippelmarken nicht selten sind, der kambrische Potsdamsandstein und viele derartige rein terrestre, oder zeitweise terrestrischen Charakter annehmende Sandsteinformationen.

In Sachsen lagert das Cenoman auf älterem Gebirge transgredierend auf. Die Auflagerungsfläche zeigt an fast allen Stellen, wo sie beobachtet wurde, eine auffällige Verwitterungsart und zwar eine intensive Rotfärbung zugleich mit stärkerer Zersetzung des Grundmateriales. Es handelt sich um eine Roterdebildung an einer alten Landoberfläche, die nachher, als das Cenomanmeer kam, teilweise ausgebleicht wurde[1]).

Ungeheueren vulkanischen Ausflüssen der Vorwelt begegnen wir in Nordamerika in den tertiären (miocänen) Basaltlagen von Britisch-Kolumbien, Oregon, Nevada etc., in den Ergüssen des Dekhan gleichen

1) Pietzsch, K., Verwitterungserscheinungen der Auflagerungsfläche des sächsischen Cenomans. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 65, Berlin 1913. Monatsber., S. 594—602.

Alters, die beide ein Areal von vielen tausend Quadratmeilen einnehmen. Das gleiche bieten uns in geringerem Ausmaße die permischen Porphyrergüsse der Südalpen. Vulkanische Explosionskrater mit Tuffen zeigt uns die schwäbische Alb oder die Eifel. Nordamerika bietet uns Niederschläge von Aschenregen, die über weite Wald- und Seengebiete niedergingen und dabei die Herden tertiärer Säugetiere vernichteten, deren Reste wir in den Wechsellagerungen von vulkanischen Aschen und lakustren Absätzen der Bridger beds jetzt finden[1]). Kalkabsätze aus vulkanischen Thermen sind in den berühmten miocänen Planorbisschichten von Steinheim bei Ulm[2]) und in den Kalktuffen jungkänozoischer Thermalquellen westlich von Budapest[3]) erhalten.

5. Die Übergangsbildungen zwischen Meer und Land.

Die Deltabildung, sagt Barrell, ist ein Kampf zwischen Flüssen und Meer. In Perioden mit ruhig liegenden und flachen Ländern werden, wenn auch der Meeresboden ruhig bleibt, Deltabildungen aus dem Antlitz der Erde verschwinden. Zu anderen Zeiten, wenn das Relief der Kontinente vor allem durch Gebirgsbildung Gegensätze aufweist, und demgemäß die Erosion lebhafter wird, dann drängen sich Deltabildungen als wesentlicher Teil der Sedimentbildung quantitativ hervor. Solche Verhältnisse kennzeichnen bei uns das Oligocän und Miocän, in Nordamerika das Silur und Devon.

Als allgemeines Charakteristikum für Deltabildungen kann man mit Leuchs eine uneinheitliche, auf kurze Entfernung rasch wechselnde Sedimentation ansehen. Das gilt für die Vertikal-, wie für die Horizontalrichtung. Denn die Schwankungen des Meeresspiegels und des Landes müssen sich in der Übergangszone stets am meisten geltend machen[4]). Hierher sind vor allem die marinen, d. h. alle am Rande des Meeres, nicht in Landseen, subaërisch und subaquatisch vor sich gehenden Deltabildungen zu rechnen, von denen man die Lagunen mit Brackwasserabsätzen nicht trennen kann.

Unter einem Delta verstehen wir mit Barrell eine teilweise subaërische Bildung, die durch die Tätigkeit eines Flusses in einem und gegen ein Wasserbecken aufgeschüttet wird. Ihr unterer und peripherisch gelegener Teil entsteht unter dem Wasserspiegel, aber ihr oberer Teil entsteht meistens über dem Wasserspiegel als reine Flußaufschüttung. Daher besteht ein Delta aus einer Kombination von terrestren und marinen Schichten, zuletzt wohl auch aus lakustrinen[5]). Die meisten, an den Rändern der Kontinente unmittelbar sich ablagernden Sedimentationskomplexe dürften von Deltabildungen durchsetzt sein. Auf diese durch Deltabildung beeinflußten Übergangs-

1) Matthew, W. D., The Carnivora and Insektivora of the Bridger bassin, middle Eocene. Mem. Amer. Mus. Nat. Hist., Vol. IX. New York 1909, S. 295—307.

2) Fraas, E., Der geologische Aufbau des Steinheimer Beckens. Jahresh. Ver. vaterl. Naturk. Württ., Jahrg. 56, Stuttgart 1910, S. 47—59.

3) Schréter, Z., Die Spuren der Tätigkeit tertiärer und pleistozäner Thermalquellen im Budaer Gebirge. Jahrb. k. ungar. Geol. Reichsanst., Bd. XIX, Budapest 1912, S. 199—262.

4) Leuchs, K., Beobachtungen über fossile und rezente Wüsten. Geol. Rundschau, Bd. V, Leipzig 1914, S. 23—47.

5) Barrell, J., Criteria for the recognition of ancient delta deposits. Bull. geol. Soc. America, Vol. XXIII, 1912, S. 381.

Digitized by Google

bildungen von Land und Meer hat man früher weniger geachtet und doch sind sie äußerst wichtig, da sie fossil viel häufiger als reine Meeres- und reine Landablagerungen auftreten. Das geht schon aus der einfachen Überlegung hervor, daß die vorweltlichen Meere, soweit wir sie überhaupt an ihren zurückgelassenen Absätzen nachweisen können, epikontinentale, episalische Wasserflächen waren, ihre Ablagerungen also durchweg solche aus nächster Nähe der Kontinentalränder sind, und die einen genau so engen Kranz um die Kontinentalgebiete bilden, wie das für die heutige Zeit auf dem Kärtchen, Fig. 28 in Kapitel VI, angegeben ist. Es ist darum gar nichts anderes zu erwarten, als daß man mindestens ebenso häufig Deltaablagerungen in den vorweltlichen Formationsreihen begegnen wird, als rein marinen, d. h. nichtmehr vom einströmenden Süßwasser beeinflußten Sedimenten. Ein Kennzeichen für diese zu wenig beachtete Tatsache ist die ungeheuere Menge fossilleerer klastischer Bildungen, die immer und immer wieder, die einzelnen Zeitalter repräsentierend, auftreten, und denen gegenüber die reinen Süßwasserabsätze, sowie die nur Marinfossilien führenden Schichten doch sehr zurücktreten. Daß wir die Aufschüttungssedimente der Deltabildungen in den vorweltlichen Schichtserien so schwer als solche erkennen, liegt, wie Barrell an anderer Stelle ausführt[1]), daran, daß wir die heutigen Deltabildungen vornehmlich nur aus der Betrachtung ihrer Horizontalausdehnung kennen, während uns die vorweltlichen in Vertikalprofilen entgegentreten. An der einen Stelle, sagt Barrell, zeigt uns ein solches Profil ganz die Fazies der Landoberfläche, an der anderen die der freien Küste, an der dritten die Verknüpfung von subaërischen und submarinen Schichten.

Was übrigens die allgemeinen Lagerungsverhältnisse bei ruhig liegenden und bei sich senkendem Meeresboden betrifft, so darf hier auf die oben S. 197 ff. gemachten Ausführungen verwiesen werden. Im speziellen bestehen die Deltaablagerungen aus allen möglichen Materialien, von den gröbsten Geröllen bis zu dem feinsten Sand und Schlamm. Kreuz- und Flußschichtung, vorschreitendes Übergreifen, Linsenbildung und Auskeilen bei vielfach wechselndem Gesteinsmaterial sind charakteristisch und zwar bei rasch strömenden oder in kurzfristigen Perioden ihre Wassermenge und Transportkraft wechselnden Flüssen. Es gibt aber auch ruhige Flüsse, die jahraus, jahrein ein sehr einheitliches Material bringen. Man darf sich auch die Deltabildungen nicht immer als einfache, räumlich mehr oder weniger engbegrenzte Schuttkegel vorstellen, sondern man muß sie sich oft als außerordentlich weitgreifende und daher auch zuweilen auf längere Strecken und über weite Areale vielfach einheitlich sedimentierte Körper denken, wofür ein im Kapitel IX, beschriebenes altpaläozoisches pennsylvanisches Delta ein Beispiel ist. Zwischen den einzelnen Teilen eines Deltas besteht insofern eine Wechselbeziehung, als sich bei Häufung der subaërisch vor sich gehenden Ablagerungen die submarinen vermindern müssen und umgekehrt. Welches die einen und welches die anderen sind, darüber können die Fossileinschlüsse entscheidende Anhaltspunkte geben. Die des subaërischen Teiles müssen zwar nicht immer, wohl aber können sie nur Landbewohner enthalten, auch Fluß-, See- und

1) Barrell, J., Relative geological importance of continental, littoral and marine sedimentation. Journ. of Geology, Vol. XIV, Chicago 1906, S. 316—356, 430—457, 524—568.

Sumpfbewohner, also Süßwassertiere, besonders dann, wenn sich auf dem Deltarücken Süßwasserlagunen gebildet haben; nie können Marintiere darunter gemischt sein, außer solchen, die allenfalls, wie manche heutige Fische, gelegentlich in Flußmündungen und Flußläufe eindringen. Hier liegt noch ein großes Arbeitsfeld für die Paläobiologie vor. Umgekehrt werden im marinen Teile des Deltas keineswegs nur Marintiere eingebettet sein, sondern Marin-, Land- und Süßwasserorganismen gemischt vorkommen, ebenso wie Landpflanzen.

Weitere ganz spezielle Charakteristika gibt Deecke[1]) für fossile, mit Brackwasserlagunen verknüpfte Deltabildungen an, unter denen man die der Tertiärzeit noch am ehesten wird als solche zu erkennen vermögen. „Eingebettete Leichen und Teile von Landsäugetieren, Landpflanzen mit Cardium-, Congeria-, Melanopsis-, Potamides-Arten gemengt, geben einen guten Habitus ab. Schwieriger sind schon die Fische zu beurteilen, weil sie ihr Medium teils gewechselt haben, teils während ihres Lebens mitunter zu wechseln vermögen... Im Tertiär wird man sich indessen schließlich noch zurechtfinden, weil die Landverteilung im großen und ganzen klarliegt. Das ändert sich aber, je weiter wir gegen das Kambrium hinaufsteigen", weil auch die Formen fremder und ihre Lebensweise unsicherer für uns wird. „Der Hauptcharakterzug von Deltasedimenten liegt in der faunistischen Einförmigkeit, die nur plötzlich auf kurze Zeit unterbrochen wird. Das gilt ebenso von dem petrographischen Habitus. Die faunistische Eintönigkeit wird durch die massenhafte Anhäufung weniger Formen hervorgerufen, z. B. Cyprislager, Cyrenabänke, Melanopsisschichten im Wealden, Cardiumzonen im brackischen Miocän, Dreissensia-Grus in der Pontischen Stufe. In den Hydrobienkalken sitzen plötzlich tonigere Bänder mit zahllosen Perna- und Mytilus-Individuen, oder wir haben schichtweise bis linsenförmige Partien voll von Heliceen. Ebenso unvermittelt folgen Fischschiefer, oder Kohle, oder Lagen von Charenresten. Hier und da tauchen auf einmal rein marine Formen auf, wie in den Goniatitenbänken des westfälischen Oberkarbons. Im schwäbischen Obermiocän wimmelt es von Planorben dicht über Cardienschichten, die immerhin einen gewissen Salzgehalt anzeigen, während Planorbis nicht einmal in die schwach salzige mittlere Ostsee geht. In gleicher Weise ist Eintönigkeit der Gesteine vorhanden, meist dunkle Tone mit bituminösen Einschlüssen und Landmassen, die aber ohne Übergänge horizontal und vertikal wechseln.

Für alle diese Erscheinungen liegt der Grund in den wechselnden Gefällsverhältnissen des Deltagebietes, mögen sie durch Hochfluten der Ströme oder Springfluten der See erzeugt sein, mag ihnen ferner Abgleiten der Schuttmassen durch eigene Schwere oder durch tektonische Vorgänge zugrundeliegen, oder mag Anschwemmung von außen oder innen, verbunden mit Hebung, den Wasserabfluß hindern. Wiederholte Aufarbeitung, Umlagerung treten ein, der Wind spielt in dem Verschleppen des Dünensandes eine wichtige Rolle. Die Hauptursache ist aber wohl in tektonischer Bewegung zu suchen, die neue Verhältnisse schafft. Dem Bestreben, in diesen den Ausgleich zu schaffen, verdanken alle Delta- und Brackwassersedimente ihre Entstehung."

---

1) Deecke, W., Faziesstudien über europäische Sedimente. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., Bd. XX, Naumburg 1913, S. 35—36.

Digitized by Google

Man wird demnach Delta- und Brackwasserbildungen, also auch Absätze in Lagunen, vielfach gar nicht trennen können, sobald eben ein Flußlauf irgendwie oder irgendwo in der Nähe beteiligt ist.

Einen sehr schönen Übergang von der Landfazies des Gondwanasystems in die marine Flachwasserfazies zeigt der klassische Jura von Kutch an der Indusmündung. Diese, mit dem unteren Dogger beginnende Juraserie besteht der Hauptsache nach aus litoralen Sandsteinen, eisenschüssigen Oolithen und Tonschiefern (wohl Wattenschlick?). Im mittleren Malm schalten sich sandige Lagen mit Landpflanzen des terrestren Gondwanasystems ein, aber die Marinentwicklung geht Hand in Hand damit weiter. Etwas Ähnliches zeigt der Dogger auf Madagaskar, wo in brackischen und marinen Strandablagerungen Massen von Landdinosauriern eingebettet sind, die sich an den mitteljurassischen Küstenlagunen dort in Herden herumgetrieben haben.

In Ägypten bietet uns das Tertiär des Niltales den Anblick eines vom Eocän ab immer weiter nach Norden gedrängten Flußdeltas und bei dem Kampfe von Meer und Land bildete sich eine Ablagerung, die sogenannte Fluviomarinstufe, in der tonigsandige Schichten mit Gipsausscheidungen und darin sowohl Land-, wie Süß- und Meerwassertiere vorhanden sind. Ein zuerst marines, dann brackisches und schließlich zum Süßwassersee gewordenes Areal ist die Purbeck-Wealdenformation Norddeutschlands und Englands, deren Gesteine, beginnend mit marinen Plattenkalken in Tone und Sande nach oben auslaufen, neben Landreptilien auch Süß- und Brackwassermollusken enthalten und reichlich kohlige Ansammlungen aus den das Ästuar und Seeufer besiedelnden Pflanzen. „Die Wealdenformation", sagt Deecke an der zitierten Stelle, „ist eine Vereinigung von Deltabildung mit Strandsümpfen nach Art der an die Mississippimündung sich anschließenden Gebilde oder ähnlich wie das Ganges-Brahmaputradelta, d. h. flache, von Wasserlachen, Flüssen und vom Meer beeinflußten Haffen durchzogenes und durchsetztes Gebiet. Die mit dem Valenginien wieder einsetzende Senke breitete die Dünen zu Sandsteinen aus. Dinosaurier, Krokodile, Schildkröten belebten diese Landschaft; in den Tümpeln gediehen Cyrenen, Paludinen, Cypriden und Characeen. An der Basis und oben zeigen Austern und Mytiliden den Einfluß der See deutlich an."

Ein Charakteristikum für lagunäre Ablagerungen ist vielfach auch das Auftreten von Gips, der zu seiner Entstehung, ebenso wie das Salz, ein trockenes Klima zur Voraussetzung hat, in dem das gips- und salzhaltige Wasser stark verdampft. Eine unterbundene Wasserzufuhr ist hierbei entscheidend.

Wenn auch Gips marin abgelagert werden kann, wie uns die obertriassischen Raibler Gipse der nördlichen Ostalpen beweisen, so sind Gipsablagerungen doch meistens Übergangsbildungen von Land zu Meer, z. B. in Lagunen (Ägypten) und in unserer deutschen Mittel-Obertrias, sie treten aber auch als Niederschläge in reinen Landseen auf, wie ein von Rogers aus Nevada beschriebenes Gipsvorkommen beweist[1]), das mit Süßwasserkalk und -quarzit wechsellagert.

1) Rogers, A. F., The occurence and origin of gypsum and anhydrite at the Ludwig mine, Lyon county, Nevada. Econom. Geology, Vol. VII, New York 1912, S. 185—189.

Digitized by Google

Bis zu einem gewissen Grade gehören auch Salzlagerbildungen hierher. Nach Grabau ist die endgültige Quelle des Salzes der Salzlager wohl auf jeden Fall das Meer[1]), während zugleich ein gewisser Grad von Trockenheit des Klimas ein notwendiger Faktor in der Entstehung von Salzlagern ist. Salz schlägt sich nieder: 1. durch vollständige Verdampfung und Trockenlegung einer Pfanne; 2. durch Barrenabtrennung einer Bucht; 3. durch Auslaugung von Gesteinen. Das erstere hat man sich so vorzustellen, daß sich ein ausgedehntes Salzwasser durch Verdunstung zusammenzieht und dabei auf immer schmälerem Raum eine immer konzentriertere Lauge bildet. Wird die Verdunstung vollständig, dann schlägt sich der Reihe nach nieder: Gips, Chlornatrium, Kalisalze. Das zweite findet ein vielgenanntes und vielberufenes Beispiel an dem Adschi darja- oder Karabugasgolf des Kaspischen Meeres, der durch eine schmale Barre völlig von der offenen See abgeschnürt ist und nur durch eine ganz schmale Passage Zufluß erhält, so daß zwar stets neues Salzwasser zuströmen, nie aber ein Austausch des konzentrierten Wassers mit dem des freien Sees erfolgt. Abgesehen von den in Wüsten selbst eingedampften und dabei Salzniederschläge liefernden Seen, gehört der — nach Analogie des Karabugas — in Lagunen, die vom Meer mehr oder weniger abgeschnürt sind, sich abspielende Vorgang in gewissem Sinne noch zur reinen Marinsedimentation. Die dritte Art der Salzlagerentstehung dürfte wohl die seltenste sein. „Um ein Salzlager von 100 Fuß Mächtigkeit, ausgedehnt über ein Gebiet von 2500 Quadratmeilen entstehen zu lassen," sagt Grabau, „bedürfte es auf der Grundlage von 1% Salzgehalt einer älteren klastischen Marinformation von 10000 Fuß Mächtigkeit und der gleichen Ausdehnung. Auch durch Auflösung und Umlagerung älterer Salzlager selbst können neue jüngere wohl zustandekommen, wobei jedoch abermals starke Verdunstung Voraussetzung ist".

Nach der Art des Auftretens unterscheidet Hahn[2]) folgende zwei Typen von Salzlagern:

1. Zwischenlagerungen, welche sich über mehr oder minder weite Areale ausdehnen und mit Tonschiefern, Anhydrit, Gips oder Dolomit wechsellagern, teilweise ziemlich unregelmäßig. Beispiele hierfür sind die Steinsalzvorkommen des Silur im zentralen New York und das Goderich Feld in Kanada, ebenso wie die permischen Salzlager Deutschlands. Dieser Typus ist nicht rein mariner Entstehung, insofern als das Niederschlagsbassin wenigstens zeitweise und besonders zuletzt von der offenen See abgeschnitten bleibt.

2. Salzlager, die in Form von Linsen und lappigen Massen, oft von bedeutender Dicke auftreten, dafür aber im Gegensatze zu obigen ziemlich beschränkt und vereinzelt im selben Horizont verteilt erscheinen. Beispiele hierfür sind die Salzlager im Keupermergel von Cheshire in England und die in den österreichischen Ostalpen, die alle im selben Triashorizont auftreten, aber alle voneinander getrennt sind durch ausgedehnte salzarme Strecken. Sie mögen entstanden sein in verdampfenden Salzseen oder Swamps und in einem ariden Klima.

1) Grabau, A., Early paleozoic delta deposits of North America. Bull. geol. Soc. America, Vol. XXIV, New York 1913, S. 496ff.

2) Hahn, F. F., The form of salt deposits. Econom. Geology, Vol. VII, New York 1912, S. 120.

Digitized by Google

	Marin	Lakuster	Ästuarin	Fluviatil	Glazial
Grundmasse	Reine Sande, sehr gut sortiert kreuzgeschichtet, eckige (angular) bis gerundete Körner.	Ähnlich dem Marinen; vielleicht weniger gut sortiert, weniger rein und weniger wohlgerundete Körner.	Feiner Kies u. Sand mit viel Schlamm, unsortiert, kreuzgeschichtet, eckige bis schwachkantige Körner.	Sande, vermischt mit feinerem und gröherem Material, nicht gut sortiert, kreuzgeschichtet, eckige bis schwachkantige Körner.	Heterogenes Material, fein oder grob, kompakt, eckige Steine, teilweise unverwittert. Partikel teilweise gerundet und teilweise eckig.
Gerölle	Im allgemeinen an Ort und Stelle anstehende Materialien von ganz gleichartiger Größe, wohl gerundet, vielleicht gekritzt von Küsteneis, Rutschungen usw., aber weder facettiert noch abgeschliffen.	Ähnlich dem Marinen, obwohl vielleicht weniger gut sortiert und gerundet.	An Ort und Stelle anstehende Materialien von verschiedener Größe und nicht gut sortiert, schwachkantige Anlagen auf dem ganzen Körper, Zeichnungen wie auf den marinen.	Materialien von allen möglichen Arten, im allgemeinen gerundet, seltener noch schwachkantig. Fragmente einer älteren Lage als Gerölle eingebettet in jüngere derselben Formation.	Lokales und exotisches Material. Gelegentlich eine geringe Sortierung wahrnehmbar. Alle Größen bis zu Blöcken von mehreren Tonnen. Gerölle fazettiert, mit abgerundeten Ecken und abgescheuerten Rändern, poliert und gekritzt, oft in allen Richtungen.
Lagerung	Schichtung im allgemeinen wohl ausgeprägt. Kreuzschichtung oft wohlentwickelt. Eingelagert in normale Sedimentationszyklen. Oft lokale Diskordanz und Unregelmäßigkeit der Lagerung, linsenförmige Einlagerung; permanenter in der Längserstreckung als in der Vertikalen[1]). In der Serie vorhandene Kalksteine meist klastisch-organogen.	Mehr verbunden mit marinen als mit fluviatilen Ablagerungen. Grobe Materialien, die innerhalb eines normalen Sedimentationszyklus fortschreitend feinere Sedimente überlagern. Kalke und Mergel der Serie mit Süßwasserorganismenresten.	Häufige und unregelmäßige Zwischenlagerung von groben Sanden und feiner Materialien; häufig Kreuzschichtung. Rippelmarken und Trockenrisse mit organogenen Spuren und Eindrücken.	Häufige Wechsellagerung von groben und feinkörnigen Lagen. Häufige Strömungsanzeichen und schräge Schichtung, lokale Unkonformitäten. Unregelmäßigkeit der Dicke und des Schichtcharakters, linsenförmige Einlagerungen. Weniger permanent in der Längserstreckung als in der Vertikalen[1]). Kalksteine selten, aber wo sie auftreten und unverändert sind, bestehen sie aus amorphem und feineren Materialien; Karbonat und nicht aus klastisch-organogener Masse.	Sande und Kiese (Till), gewöhnlich ungeschichtet, zuweilen unterdrückte Schichtung. Wenn erhärtete Lagen vorhanden, zeigen sie geglättete und gekritzte Oberfläche. Zuweilen Taschen, Linsen und wechselnde Lagen von gröber und feiner geschichtetem Material mit Kreuzschichtung zwischen ungeschichteten Massen. Das fluvioglaziale Material zeigt alle Übergänge von Nichtschichtung zum wohlentwickelten fluviatil geschichteten Typus. Marine glaziale Rollkiesellagen zeigen wohlausgeprägte Schichtung und Wechsellagerung von göberem und feinerem Material.

[1]) Vgl. BARRELL, J., Some distinctions between marine and terrestrial Conglomerates. Bull. geol. Soc. America, Vol. 20, New York 1910, S. 620.

Nach Analogie mit den Verhältnissen des Karabugasgolfes denkt man sich die permischen Salzlager Norddeutschlands entstanden, die sich in einem von Nordosten herüberziehenden, in Westdeutschland endigenden Meeresarme unter einem ariden Klima niederschlugen. Die Salinaformation des nordamerikanischen Devon könnte, nach Grabau, durch Auslaugung und detritische Ablagerung von salzführendem älterem Gestein entstanden sein, zumal sie mit anderem klastischen Sediment (vgl. Typus 1 von Hahn) wechsellagern.

Vergesellschaftet mit Salz- und Gipslagern treten dann zuweilen auch Dolomite auf, die in solchen Fällen daher nichtmehr als rein marines Gestein anzusprechen sind; ein Beispiel dafür haben wir ja in der deutschen Trias und in dem genannten Vorkommen des nordamerikanischen Silur.

Mansfield hat versucht[1]), die verschiedenen Arten von Konglomeraten, marine, lakustre, ästuarine, fluviatile, glaziale und auch tektonische Brekzien, die ja stratigraphisch Konglomeraten sehr ähnlich werden können (Mylonitbildung), nach ihren Merkmalen, Größe, Farbe, Form und der Grundmasse, in die sie eingelagert sind, zu charakterisieren. Ich gebe die von ihm entworfene Tabelle unter einigen Modifikationen und Weglassungen, besonders der mir sehr fraglich erscheinenden Farbenmerkmale, hier (S. 230) wieder.

6. Der biologische Inhalt der Sedimente.

Gerade die Tatsache, daß sich gleichartig aussehende Sedimente, wie Schlicke, Kalke oder Sandsteine in mehreren Regionen der Meere, oder auf dem Lande bilden können und daß der chemisch-physikalische Charakter der Gesteine meist nicht zur Erkennung des ehemaligen Ablagerungsmilieus genügt, verlangt eine Ergänzung der stratigraphisch-petrographischen Methode durch Betrachtung des Fossilinhaltes, d. h. durch Prüfung der äußeren Erscheinungsweise der eingeschlossenen Organismenreste inbezug auf die darin sich wiederspiegelnden bionomischen Verhältnisse. Wir müssen daraus zu entscheiden suchen, in welcher Meerestiefe, in welcher Art von Wasser — Brandung, Strömung, Stillwasser —, in welchen Wärmegraden etwa sich die betreffenden Ablagerungen gebildet haben, wenn uns der petrographische Charakter des Gesteins hierüber nicht zu belehren vermag. Auch die Art der Verteilung der Tiere in horizontaler Richtung, also das rein tiergeographische Moment, wird uns hier vielfach gewisse Aufschlüsse geben können, doch ist hinsichtlich der Verteilung und Zusammensetzung der Faunen zweierlei zu beachten.

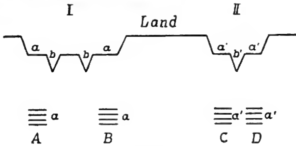
Wir müssen Fazies und tiergeographische Region auseinanderhalten. Unter faunistischer Fazies verstehen wir die im morphologischen Charakter und in der Art der Vergesellschaftung zum Ausdruck gelangenden Lebensverhältnisse, die im Habitus der Faunen und zum Teil auch im petrographischen Habitus, der petrographischen Fazies des Sedimentes, erkennbar werden. Wenn wir ein Meeresareal (Fig. 41) von einer gewissen Größe haben, worin abwechselnd verschiedene Tiefenverhältnisse herrschen und wir finden

1) Mansfield, G. R., The characteristics of various types of conglomerates. Journ. of Geology, Vol. XV, Chicago 1907, S. 550—555.

Google

bei der Wiederkehr der analogen bionomischen Umstände (*I a a, b b*) auch die gleiche Fauna *a* oder *b* wieder, so ist das ganze Areal eine einheitliche tiergeographische Region, auch wenn die Faunen *a* und *b* untereinander faziell wegen der Tiefe verschieden sind. Wenn wir aber in einem von dem vorigen mehr oder minder entfernten Becken *II* einen gleichartigen Wechsel der bionomischen Verhältnisse haben, wie in *I*, aber darin Faunen, die sich von den unter gleichen Lebensbedingungen lebenden des ersten Beckens unterscheiden, dann befinden wir uns in einer anderen tiergeographischen Region oder Provinz. Hier aber handelt es sich zunächst nur um die faziellen biologischen, nicht um die tiergeographischen Verhältnisse.

Die horizontale und vertikale Verteilung der Tiere im Wasser richtet sich nach vier Faktoren: 1. Temperatur, 2. Bewegung, 3. Tiefe, 4. chemische Zusammensetzung.



Figur 41.

Aber auch hier, wie überall, ist das zu erklärende Phänomen nicht eindeutig bestimmbar: Das Auftreten einer Tierform ist nicht darstellbar als einfache Funktion eines dieser Elemente, sondern gewöhnlich sprechen mehrere Momente mit herein mit verschiedener Stärke, wie auch andrerseits die unter 1—4 aufgezählten bestimmenden Faktoren uneinheitlich und mehrdeutig sind. So ist die Temperatur eines Ortes teils abhängig vom Sonnenlicht, teils auch von kalten oder warmen Strömungen, die aus Temperaturdifferenzen anderswo entspringen, also bis zu einem gewissen Grade auch von der Bewegung des Wassers. Wenn Tiere in größerer oder geringerer Tiefe leben, so kann das verursacht sein entweder von der Intensität des Lichtes, das mit der Tiefe rasch abnimmt, oder von der Intensität des Druckes, der mit der Tiefe zunimmt. Wo das Licht fehlt, gedeihen keine Pflanzen mehr und aus diesem Grunde können Pflanzenfresser sekundär von gewissen Tiefen ausgeschlossen bleiben, während der Mangel an Licht oder der Wasserdruck nicht oder nur teilweise mitsprächen etc. Hier kommt es uns jedoch nicht darauf an, die Verbreitung der Tiere in vertikaler Richtung zu erklären, sondern um Feststellung bestimmter Verteilungsarten und Habitusmerkmale allgemeineren Charakters, aus deren Erscheinen an fossilen Vorkommen Rückschlüsse auf den Charakter der Umgebung der Tiere gezogen werden können.

Es kommen auf Grund dessen folgende Faziesgebiete in Betracht: 1. Bewegtes Wasser der Küsten und Strandzone; 2. ruhiges Wasser der Strandzone und des Flachmeeres; 3. Stillwasser der tieferen und

tiefsten Regionen; 4. salziges, brackisches und salzfreies Wasser; 5. kaltes, normales und warmes Wasser. Die äußersten Extreme, in denen sich diese Kategorien manifestieren können, sind für 1—3: Brandung an Steilküsten mit lichtdurchflutetem Wasser und abyssale ewige Ruhe und Dunkelheit; für 4.: Salzseen und Süßwasserseen; für 5: kaltes Polarwasser und tropische austrocknende Flüsse.

Jedes dieser Lebenselemente beherbergt seine charakteristischen Tierformen, und diese zeigen ihre charakteristischen Anpassungserscheinungen an die verschiedenartigen bionomischen Regionen, in denen sie leben. Für den Paläogeographen kommen natürlich nur die fossil erhaltbaren Formen in Betracht, und zwar in erster Linie, als die häufigsten, die schalentragenden wirbellosen Tiere, wie Foraminiferen und Radiolarien, Hydrozoen, Schwämme, Korallen, Bryozoen, Brachiopoden, Mollusken, Krebse. Die Wirbeltiere sind seltener und auch wegen ihres meist nektonischen Lebens für die Beurteilung des Sedimentes in dem sie liegen, nur mit Vorsicht zu verwenden, wie Landpflanzen. Gelegentlich mögen auch, wie in den lithographischen Juraschiefern oder neuerdings in kambrischen Schichten von Nordamerika, zartere Tiere ohne Hartteile vorkommen, wie Quallen, Würmer und Holothurien, die dort in wunderbarer Schönheit erhalten und als niedergesunkenes Plankton zu betrachten sind.

Walther[1]) hat ausführliche Angaben über die marinen Lebensbezirke und die Existenzbedingungen ihrer Bewohner in seiner „Einleitung in die Geologie" gemacht, der wir einiges entnehmen: hier können aber nur die allgemeinsten Gesichtspunkte vorgebracht werden. Die schalentragenden Tiere der Brandungszone sind stets derb und dickschalig, meist auch größer und schwerer als die gleichnamigen Formen der ruhigeren Strandzone, so daß sie nicht so sehr vom Wasser hin- und hergeworfen werden. Die Formen des gemeinen Buccinum undatum, die man an der Küste von Helgoland findet, zeigen diesen Unterschied gegenüber denen, die man am Flachstrand in Holland etwa aufliest Gehen wir an ein von der Brandung bespültes Korallenriff der Jurazeit, etwa an den Kelheimer oder Stramberger Korallenkalk, so begegnen uns in außerordentlich derben Exemplaren Diceras, Astarte, Ctenostreon, Trichites, Terebratula, Nerinea etc., Formen, die im stilleren, abseits von den Riffen gelegenen Wasser nur die normale Größe behalten oder, wie Nerinea u. a. dort überhaupt nicht auftreten. An den Silur- und Karbonriffen sitzen dickschalige Brachiopoden und Gastropoden, wie Euomphaliden, an den Devonriffen die Megalodonten, welche auch an den triassisch-alpinen Rhätriffen in zum Teil mächtigen Exemplaren wiederkehren und im Jura durch Diceras, in der unteren Kreide durch Capriniden, in der oberen durch Radioliten und Hippuriten ersetzt sind. Im Tertiär zeigen die dickschaligen Mollusken des Castelgomberto- und Roncahorizontes im Vicentin den typischen Strand- und Brandungsfaunencharakter.

Die an das flachere Meer gebundenen Kalkalgenriffe wurden schon oben (S. 210) einmal erwähnt. Ausgezeichnete vorweltliche Beispiele hierfür besitzen wir in den jungtertiären Leithakalken des Wiener Beckens oder in den triassischen alpinen Raibler Sphärocodienkalken und im Gyroporellenkalk des Wettersteingebirges.

1) Walther, J., Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. I. Teil: Bionomie des Meeres. Jena 1893.

Das Gegenteil der Flachwasser- und Brandungszone bilden die abyssischen Tiefen, die dort, wo sie noch die Existenz von kalkschaligen Lebewesen an Ort und Stelle gestatten, nur dünne und feinschalige Mollusken beherbergen, wie das auch sonst in tieferem Stillwasser der Fall ist. So sind die Crinoiden der in einem tiefen Stillwasser abgesetzten unterdevonischen Bundenbacher Dachschiefer außerordentlich zart gegenüber den gleichalterigen in dem bewegten Küstenwasser, wie ein Vergleich etwa mit den Cupressocriniden der sandigen, Korallen und Brachiopoden führenden Devonschichten der Eifel zeigt. Die silurischen Graptolithen, im allgemeinen an große Tiefen gebunden, bilden auf den dort abgelagerten schwarzen Graptolithenschiefern nur einen Hauch, aber im Sandstein des Flachwassers sind sie derber. Die feinen Schälchen der Posidonomya Bronni im Ölschiefer des Lias ε von Schwaben und Franken deuten auf tieferes Stillwasser, ebenso wie die darin eingeschlossenen dünnen Coelocerasschalen, die in einem auffallenden Kontrast zu den derberen Arieten und Schlotheimien des unteren Lias mit seinem Flachwasser stehen. Freilich muß man andrerseits auch mit den aus dem Habitus der lebenden Formen und der Ausbildungsart ihrer Organe auf ihre Umgebung gezogenen Schlußfolgerungen vorsichtig sein. Methodologisch vorbildlich, aber doch zugleich ein zur Behutsamkeit mahnendes Beispiel ist der bekannte Versuch aus der starken Vergrößerung der Augen einerseits, sowie aus der Blindheit gewisser Trilobitengruppen andrerseits auf deren Leben im Düster oder Dunkel einer Tiefsee zu schließen. Man weiß jetzt, daß die blinden Trilobiten Schlammbewohner waren und im Zusammenhange damit ihre Augen rückgebildet hatten.

Einen ähnlichen Irrtum könnte man möglicherweise etwa dadurch begehen, daß man die planktonisch oder nektonisch im freien Meere schwebenden, meist dünnschaligen und durchsichtigen Organismen, die etwa in ein Sediment hineingeraten sind, für bodenständige Typen der betreffenden Sedimentfazies nehmen und daraus falsche Schlüsse ziehen würde; man muß sich natürlich an die autochthonen Bodenbewohner halten. So wird man aus dem Vorkommen der lichten, von Walcott[1]) jüngst beschriebenen Holothurien mit ihrem Velum nicht schließen dürfen, daß sie in dem kambrischen Potsdamsandstein, wo sie jetzt gefunden werden, lebten, und daß dieser eine tiefe Stillwasserablagerung sei; vielmehr sind diese Organismen unabhängig vom Boden im freien Meere in den durchleuchteten oberen Regionen flottiert und nach ihrem Tode in den Potsdamsand hinabgesunken.

Weitaus die größte Masse der dem Paläogeographen in die Hände kommenden marinen Gesteine und Fossilien gehört dem ruhigen Flachwasser an, auf dessen Boden im Käno- und Mesozoikum die aus allen fossilen Faunen bekannten frei gewachsenen Muscheln und Schnecken stammen. Die Brachiopoden normaler Größe sitzen in geringer Tiefe am Boden oder an sonstigen Objekten fest; von den Seeigeln bevorzugen durchschnittlich die regulären das weniger tiefe, etwas bewegte, die irregulären das tiefere stillere Wasser; die Crinoiden, im Erdaltertum im allgemeinen noch die lebhafteren Regionen bevorzugend, ziehen sich von der Kreide ab und im Tertiär entschieden in

1) Walcott, Ch. D., Cambrian Geology and Paleontology, II, No. 3. Middle Cambrian Holothurians and Medusae Smithson. Miscell. Coll., Vol. LVII, No. 3, Washington 1911, S. 41—58. (Mit 6 Tafeln.)

die stillen tiefen Zonen zurück; ebenso z. B. die Muschelgattung Pholadomya.

Im allgemeinen werden die tertiären, besonders die jungtertiären Formen hinsichtlich ihrer Lebensweise unmittelbar an den rezenten geprüft werden können. „Das ändert sich aber", wie DEECKE sagt[1]), „je weiter wir gegen das Kambrium hinaufsteigen. Die älteren Formen sind oft ausgestorben, oder wir haben bei manchen (Anthracosien, Anoplophoren) keinen sicheren Anhalt über ihre Lebensweise. Das gilt vor allem von den Fischen des Old red und von den Gigantostraken. Wie weit waren ferner die Brachiopoden früher an schwächeres Salzwasser anpassungsfähig? Das läßt sich nach den rezenten dürftigen Resten dieses Stammes kaum beurteilen. Umso wichtiger sind solche Gruppen, wie die Echinoideen, die niemals in's Brackwasser gehen und andere, welche gerade darin ihre Hauptentfaltung erlangen (Cyrena)."

Auch die Trilobiten als charakteristische Fossilien des Paläozoikums lieben im großen und ganzen das ruhige schlammige und sandige Küstenwasser, die Spongien das stille klare Wasser, ebenso die festsitzenden Hydrozoen. Über die für das jüngere Paläozoikum und das ganze Mesozoikum so überaus charakteristischen Ammonoideen sind wir noch verhältnismäßig schlecht hinsichtlich ihrer Lebensweise und somit hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit zur Beurteilung der Ablagerungen, in denen sie vorkommen, unterrichtet. WALTHER[2]) hat früher, einen Gedanken D'ORBIGNYS aufnehmend, die Ansicht vertreten, daß die Schalen der normal gewundenen Ammoniten infolge ihres Luftgehaltes nach dem Tode des Tieres an der Oberfläche des Meeres schwimmend pseudoplanktonisch überallhin getrieben worden und so in die verschiedenartigsten Sedimente geraten seien, mitbin in allen Fazies in gleicher Weise angetroffen würden und so zwar ausgezeichnete Leitfossilien, aber unbrauchbar zur Beurteilung der bionomischen Verhältnisse des Milieus seien, in denen ihre Schalen zur Ablagerung gelangten. Wenn dieses Moment auch für vereinzelte lokale Fälle gelegentlich in Betracht kommen kann, wofür UHLIG in seiner Beschreibung der Spitifauna[3]) ein Beispiel beizubringen versuchte, so lehnt doch sowohl er[4]), wie auch DIENER[5]) in einer Spezialabhandlung über die Lebens- und Verbreitungsweise der Ammoniten diese Theorie als allgemein anwendbar ab, und neuerdings hat sich auch nach den noch unveröffentlichten genaueren Untersuchungen und Horizontierungen des fränkischen Jura durch TH. SCHNEID herausgestellt, daß die Ammoniten streng an die Fazies gebunden sind. REUTER hat ferner an einem überzeugenden Beispiel dargetan[6]), daß

1) DEECKE, W., Faziesstudien über europäische Sedimente. Ber. d. Naturf. Ges. Freiburg i. B., Bd. XX, 1913, S. 35.

2) WALTHER, J., Die Lebensweise der Meerestiere, l. c. S. 509ff.
— Über die Lebensweise fossiler Meerestiere. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. LXIX, Berlin 1897, S. 258.

3) UHLIG, V., Die Fauna der Spitischiefer des Himalaya, ihr geologisches Alter und ihre Weltstellung. Denkschr. d. math.-naturw. Kl. d. Königl. Akad. d. Wiss., Wien 1910, Bd. LXXXV, S. 565.

4) UHLIG, V., Die marinen Reiche des Jura und der Unterkreide. Mitteil. d. Wiener Geol. Ges., 1911, Bd. IV, S. 337.

5) DIENER, C., Lebensweise und Verbreitung der Ammoniten. N. Jahrb. f. Mineral. usw., Bd. II, Stuttgart 1912, S. 85ff.

6) REUTER, L., Die Ausbildung des oberen braunen Jura im nördlichen Teile der fränkischen Alb. Geognost. Jahresb. 1907, Jahrg. XX, München 1908, S. 71 bis 73.

Digitized by Google

auch die Körperform der Ammoniten ein unmittelbarer Ausdruck für die chemische Zusammensetzung des Sedimentes ist, in dem sie fossil vorkommen, mithin nicht einmal zwischen unmittelbar zusammenhängenden, frei kommunizierenden Becken ein aktiver oder passiver Austausch stattfand. Auch wäre nach der WALTHER'schen Theorie gar nicht zu verstehen, warum zeitlich so weit auseinanderliegende und generell so verschiedene Formen wie paläozoische Goniatiten und altmesozoische leiostrake Ammoniten in der gleichen Gesteinsfazies, nämlich im devonischen Gattendorfer Kalk und im obertriassischen Hallstädter Kalk so ganz identischen Habitus annähmen, wenn nicht die biologischen Umstände, wie das im Gestein ja zum Ausdruck kommt, gleich, mithin die Ammonoiden an den Ort ihres fossilen Vorkommens zeitlebens gebunden gewesen wären. Setzt man dies voraus, so wird man auch ein Recht haben, aus der Körperform der Ammoniten gewisse Rückschlüsse auf die Ablagerungsregion der sie bettenden Sedimente zu ziehen, und die Entscheidung der Frage ist daher auch für den Nachweis tiergeographischer Provinzen von prinzipieller Wichtigkeit.

Besondere Kleinheit — nicht Zartheit und Dünnschaligkeit — aller Arten einer Fauna deutet auf buschigen Algen-, besonders Kalkalgenboden oder Besetzung desselben mit kleinen Spongien. In der Jetztzeit bietet uns ein Beispiel hierfür die Meerenge bei Messina; im französischen Lias, besonders aber in der obertriassischen Mikrofauna von St. Cassian in Südtirol, liegen uns Vertreter dieser eigenartigen Fazies vor. Wohl wegen der feinen Höhlungen, Gänge und Schlupfwinkel in den Kalkalgen- und Spongienrasen können die dort sich aufhaltenden Mollusken keine große Körpergestalt brauchen, während sie sich als Brandungsbewohner groß, dick und schwer machen. Vielleicht ist gelegentlich auch der chemische Gehalt des Meerwassers für die Kleinheit einer Fauna verantwortlich zu machen. Nach GRABAU ist die unterdevonische Portage group des östlichen Nordamerika mit ihrer Zwergfauna in einem dem heutigen Schwarzen Meere analogen Becken entstanden[1]), über dessen eigentümliche chemische Verhältnisse, die zu Schwefelkiesausscheidungen führen, schon S. 211 Näheres gesagt wurde. Das gleiche ist mit dem pyritreichen oberdevonischen Tully limestone derselben Gegend der Fall[2]), und aus den auf der vorigen Seite zitierten Untersuchungen von REUTER im fränkischen Dogger geht ja aufs deutlichste der Einfluß der „chemischen Fazies" auf die Größe der Ammoniten hervor. Möglicherweise läßt sich auch in einzelnen Fällen die merkwürdige, aber gut beglaubigte, wenn auch in ihrem ursächlichen Zusammenhange noch ganz rätselhafte Tatsache paläogeographisch verwerten, daß Tierformen einen kleinen, individuellen Wuchs zeigen, wenn sie auf einem sehr beschränkten Areal bzw. in einem sehr engen Wasserbecken leben, im Gegensatze zu ihren großgewachsenen Artbrüdern in weiteren Lebensräumen. Das ist auch experimentell festgestellt.

So korrespondiert die Körperform jeweils in irgend einer Weise mit der Fazies und mit den Anforderungen des Lebensmilieus, und aus dieser Wirkung auf die Organismen muß sich daher umgekehrt auf die

1) GRABAU, A., Types of sedimentary overlap. Bull. geol. Soc. Americ., Vol. XVII, 1906, S. 594.

2) CHAMBERLIN, TH. C. and SALISBURY, R. T., Geology, Vol. II, New York 1906, S. 432/433.

ehemaligen physikalischen und chemischen Umstände im Lebensgebiet der fossilen Formen schließen lassen — eine für den Paläogeographen sehr wertvolle, zugleich eine zu den Kernfragen der Entwicklungslehre führende Erkenntnis. Etwas anderes ist jedoch, nebenbei bemerkt, das Entstehen neuer Tierformen. Die vorhandenen passen sich an und wandeln sich teilweise nach Maßgabe der äußeren Verhältnisse um. Jedoch die großen Umsetzungen der Tierwelt, das Verschwinden alter und das Auftauchen neuer Formen geht auf Ursachen zurück, die für uns, trotz 50 Jahre Deszendenztheorie, noch völlig im Dunkeln liegen. Es ist ein oberflächliches Gerede, wenn man immer wieder hört und liest, daß die erdgeschichtlichen Umwälzungen der Stimulus für die Umwandlung der Faunen und Floren gewesen seien. Man kann vielmehr gerade im Gegenteil feststellen, daß die Tierformen unabhängig von den großen lokalen Diastrophismen persistieren und daß die vollendetsten Umwandlungen in ruhigen Zeiten vor sich gehen, wo ungestört Schicht auf Schicht sich folgt. Girty macht auf einen Fall aufmerksam, in dem völlig im Gegensatz zu den schwankenden äußeren Verhältnissen die Faunen eine außerordentliche Konstanz ihrer Formen zeigen[1]). Die Oberkarbonfaunen des westlichen Nordamerika, sagt er, zeigen eine große Verschiedenheit von denen des östlichen Teiles. Ganz im Gegensatz aber zu den unsteten physischen Bedingungen, unter denen diese letzteren lebten, sind sie auffallend eintönig, sowohl in der Art ihrer speziellen geographischen Verteilung, wie in ihrem Entwicklungsgrade (range).

Auch ist die Umwandlung keine Funktion der Zeit, denn es gibt erdgeschichtliche Perioden, in denen bei manchen Gruppen oder in den ganzen Faunen die Umwandlung rasch vor sich geht, Schlag auf Schlag neue Formen auftreten (Säugetiere des Tertiär) und andererseits lange Zeiträume, die so gut wie nichts von Entwicklung zeigen (Karbonfauna des Meeres). Wie man sieht, ist also die Beziehung zwischen Organismenform und Umwelt nicht einfach, sondern sehr verwickelt; auch hier tut ein Faktor nicht alles, und darum ist andrerseits ein Rückschluß vom Habitus der Organismen auf ihre Umgebung jeweils nur mit großer Behutsamkeit zu ziehen.

Die fossil in Betracht kommende Faunistik der Süßwasserfazies ist ziemlich eintönig und ist es auch zu allen Zeiten gewesen. Unter den Mollusken sind es nur ein paar Gattungen, wie Unionen, Anodonten, Paludinen, Melaniaden und gelegentlich Pulmonaten, die sich stets durch eine grünlich-braune hornige Epidermis auszeichnen. Sie haben meist korrodierte Wirbel und Spitzen, was auf die zehrende Lösungsfähigkeit kalkarmen Wassers zurückgeführt wird. Bezeichnend für die Süßwassergastropoden ist, daß sie niemals siphonale Mundverlängerungen haben. Man wird im Auge zu behalten haben, daß frühere zweifellose Marinbewohner jetzt nur im Süßwasser leben, wie z. B. die Ganoidfische oder der den Heringen verwandte, seit der oberen Kreide marin gewesene Diplomystus, und man wird sich darum gelegentlich vor übereilten Schlüssen aus dem Auftreten einzelner Formen hüten müssen. Ebenso, wie bei vielen Typen im Laufe der Zeiten eine Anpassung an andere Temperaturverhältnisse statthatte, so auch an veränderte Tiefenverhältnisse, oder an andere chemische Zusammensetzungen

1) Girty, G. H., Upper Carboniferous or Pennsylvanian. Outlines of geologic history etc. Edit. by Willis, B. and Salisbury, R. D., Chicago 1910, S. 127.

des Wassers. Bezeichnend ist, daß Muscheln im Brack- und Süßwasser meistens ihren Schloßapparat zurückbilden, zahnlos werden und dann konvergent ein unionidenartiges Gepräge annehmen, wie die Anthracosien im Karbon, die Anoplophoren im Keuper, die Cardinien im Lias, die von ganz heterogenen Ursprungspunkten aus gleiche Gestaltung durch den Einfluß des gleichartigen Lebensmilieus gewonnen haben. Wandelt sich ein Meeresbecken allmählich in ein ausgesüßtes Binnenbecken um, wie die Ostsee heutigen Tages, dann werden die Kalkmollusken zu Kümmerformen und sterben entweder schließlich ganz aus, oder sie halten sich in etwas abgeänderter Form als Relikten, eventuell längere geologische Zeit hindurch. Ein klassisches Beispiel hierfür ist die Molluskenfauna des Tanganyikasees[1]) in Ostafrika, die teilweise das Gepräge oberkretazischer mariner Mollusken zeigt, so daß man an eine einstige Einbeziehung jenes Seebeckens in das Oberkreidemeer und eine allmähliche Aussüßung denken muß, wohei sich ein Teil der Marinfauna den neuen Verhältnissen anpaßte und so persistieren konnte — wenn man nicht Entwicklungskonvergenz annehmen will, die bei Gastropoden gerade sehr häufig ist und die zu solchen Täuschungen führen kann[2]).

Nur im Salzwasser, also nur im Meere leben die Radiolarien, die meisten Foraminiferen, die Echinodermen, Brachiopoden, Cephalopoden. Wo wir solche finden, können wir immer mit Sicherheit auf marine Sedimentbildung schließen und soweit wir wissen, hat sich seit den frühesten Zeiten bei diesen Gruppen in jener Hinsicht kein Aufenthaltswechsel gezeigt. Andere Gruppen sind von vornherein euryhalin angelegt, sie ertragen eine ziemliche Differenz im Salzgehalt, können daher in rein marinen Schichten ebenso, wie in Brackwasserablagerungen auftreten, wie die Herzmuscheln (Cardium), die Cyrenen, die flachen Psammobien und Lucinen, gewisse Cerithien(Potamides), Neritinen[3]). Die Sägehaie gehen im Amazonas Tagereisen weit stromaufwärts. Andere Arten, wie Balanus striatus (ein festsitzender Schalenkrebs), Patella vulgata, Purpura lapillus (Schnecken) und die eßbaren Muscheln Cardium, Ostrea und Mytilus edulis (eßbare Herz-, Auster- und Miesmuschel) können ohne Schwierigkeit, aber auch, was für uns hier das Wichtigste ist, ohne Formveränderungen in das Süßwasser übertreten. Umgekehrt sind gewisse Arten von Schnecken, wie Haliotis tuberculata (Ohrmuschel), Buccinum undatum (Kinkhorn), Muscheln wie Tellina incarnata (Tellermuschel), Pecten varius (Kammmuschel) streng an das Salzwasser gebunden (stenohalin). Die kleinen, im Tertiär häufigen Hydrobienschneckchen leben zwar auf dem trockenen Lande, jedoch nur in der gesalzenen Gürtelzone am Rande des Meeres.

Daß Süßwasserfische gelegentlich in rein marine Ablagerungen geraten können, dafür führt Abel nach einem Bericht von Bronn einen Beleg an[4]). 1825 wurde in Dänemark die schmale, den Lynfjord

1) Hudleston, W. H., On the origin of the marine (halolimnic) fauna of lake Tanganyika. London 1904. T. Victoria Inst. (Referat mit Ergänzungen von E. Stromer in Peterm. Geogr. Mitteil. 1905, Heft IV.)

2) Linden, M. v., Unabhängige Entwicklungsgleichheit (Homöogenesis) bei Schneckengehäusen. Zeitschr. f. wissensch. Zool., Bd. LXIII, Leipzig 1898, S. 371 bis 391. (Mit 2 Tafeln.)

3) Haug, E., Traité de Géologie, Vol. I, Paris 1907, S. 76.

4) Abel, O., Grundzüge der Paläobiologie der Wirbeltiere, Stuttgart 1912, S. 38. Nach Bronn, H. G., Handbuch einer Geschichte der Natur, Bd. II, Stuttgart 1843, S. 532.

vom Meere trennende Landenge von einer Sturmflut durchbrochen. Durch das eindringende Salzwasser starben die Fische des Süßwasserbeckens zu Millionen, und es ist mehr als wahrscheinlich, daß der mit der Flut hereingebrachte Sand diese Fische mitsamt den Seepflanzen bedeckt und so die Möglichkeit zur Entstehung einer fossilführenden Schicht gegeben hat, die in marinem Sedimentmaterial limnische Fische birgt.

Auch die Tiere des Landes zeigen gewisse Charakteristika, aus denen die Umgebung erschließbar ist. So wird man aus dem Vorkommen großer Herden rein pflanzenfressender Wirbeltiere auf die Existenz einer entsprechenden Vegetation, aus den Umwandlungen der Schreit- in die Springfüße der Equiden auf eine Änderung des ihnen zur Verfügung stehenden Terrains schließen dürfen, abgesehen von den Winken, welche uns Gestalt, Außenkleid und sonstige Körpermerkmale für die Beurteilung klimatischer Verhältnisse geben können. Letzteres besonders von seiten der Pflanzen, worauf im Abschnitt über das Klima besonders einzugehen ist.

Abgesehen von dem äußerst seltenen Fall der fossilen Erhaltung von schalen- und skelettlosen Tieren, die von vornherein aus dem Bild jeder fossilen Fauna ausscheiden, wird dieses auch gefälscht durch den schon bei Besprechung der Diagenese erwähnten Umstand, daß selbst von den zur Ablagerung gelangten Schalen- und Skelettresten ein großer Teil zerstört wird und daß somit unsere fossilen Faunen auch in dieser Hinsicht ein ganz falsches Bild der Lebewelten liefern. Diese Zerstörung erstreckt sich, wenn sie nicht durchgehends die ganze Fossilfauna betroffen und dadurch absolut fossilleere Schichten geschaffen hat, fast stets auf einzelne Gattungen, die damit völlig ausscheiden, wenn sie nicht wenigstens als Steinkerne erhalten bleiben. So ist es eine altbekannte Erscheinung, daß monomyare Bivalven eine den diagenetischen Prozessen gegenüber widerstandsfähigere Schale haben, als die dimyaren, und daß weiter Brachiopoden mit ihrem hornigen Gehäuse vielfach in Schichten vorkommen, in denen die Ammoniten- und Bivalvenschalen zerstört sind. Walther[1]) sagt mit Recht, daß auch das Zahlenverhältnis der Individuen einer fossilen Fauna ebensowenig mit der Häufigkeit oder Seltenheit der betreffenden Tierformen übereinstimme. Er macht z. B. auf die Verschiedenheit der Gattungen und Typen in den rezenten und den fossilen Korallenriffen aufmerksam[2]). „Die Arten und Gattungen, die auf dem lebenden Riff überwiegen, sind in dem fossilen Riff nicht gerade so vorherrschend. Beim Absterben des Riffes ändert sich das Zahlenverhältnis der einzelnen Formen zueinander, und eine im Leben relativ seltene Coeloria ist im fossilen Riff ungemein häufig, während die auf dem lebenden Riff vorherrschende Madrepora corymbosa beim Absterben des Riffes bis auf undeutliche, unbestimmbare Reste zerstört wird. Daran liegt es auch, daß auf den fossilen Riffen älterer Formationen so viele Geschlechter überwiegen, die recht wenig geeignet zu sein scheinen zum Riffbilden und Sandfangen. Die Lückenhaftigkeit geologischer Überlieferung steigert sich in solchen Fällen zu einer scheinbaren Fälschung der paläontologischen Urkunde.“

1) Walther, J., Lithogenesis der Gegenwart, Bd. II, S. 201ff.
2) Walther, J., Ibid., Bd. III, S. 913.

7. Zyklen und Diastrophismen.

a) Sedimentationszyklen.

Die Grenzen unserer geologischen Zeitalter sind fast ausschließlich gezogen worden auf Grund europäischer und teilweise nordamerikanischer, stratigraphischer Verhältnisse. Gewisse Formationen wurden an bestimmten Stellen zuerst erforscht und nach der gerade hier obwaltenden stratigraphischen Ausbildung eingeteilt und abgegrenzt. So kommt es, daß viele Zeitperioden gerade in unseren europäischen Profilen mit Transgressionsablagerungen beginnen, über denen sich die Sedimente einer freieren Flachsee und allmählich solche von pelagischem Charakter und Tiefwasserbildungen einstellen. Nach einiger Zeit machen diese wieder Flachwasserbildungen Platz, und schließlich klingt die ganze Serie wieder in Küsten- und Landbildungen aus; eine neue „Formation" bzw. Zeitperiode beginnt.

Diesen Kreislauf nannten Eaton, Newberry, Hull u. a. „Sedimentationszyklen" (cycles, circles of deposition), ein Gedanke, der nach Angabe von Suess auf Murchison zurückgeht[1]). Nach seiner Ansicht bestehe jede Formation in ihrer Mitte aus Kalkstein, und da man ehedem Kalkstein ohne weiteres mit dem Begriff „Ablagerung eines freien tieferen Meeres" identifizierte, so stellte Newberry, der gleichen Betrachtungsweise huldigend, folgende Phasen eines Sedimentationszyklus[2] auf), der mit einem entsprechenden Stand des Meeres korre-

Sediment	mechanisch herbeigetragen	gemischt	organogen	gemischt
Ort	Küste	außerhalb der Küste	offenes Meer	zurückweichendes Meer

spondieren sollte und der auf seine Studien im Paläozoikum von Ohio und im Mesozoikum der Vereinigten Staaten begründet war. Daß diese Regelmäßigkeit zwar lokal variiert, aber im Prinzip auch auf weitere Entfernung wiederkehrt, suchte Hull im Karbon von England zu erweisen[3]). In diesem Sinne ist auch das beistehende, von Newberry gegebene Schema zu verstehen. In Amerika stellte Dawson um dieselbe Zeit vier Zyklen für die Zeit vom Untersilur bis zum Oberkarbon fest[4]). In Zyklen anzuordnen und danach einzuteilen versuchten Rutot und van den Broeck für die belgische Tertiärformation[5]), allerdings mit

1) Suess, E., Das Antlitz der Erde, Bd. II, Wien 1888, S. 277ff.

2) Newberry, J. S., On circles of deposition in secondary sedimentary rocks, America and foreign. Proc. Lyceum Nat. Hist. New York, 2. ser., 1874, S. 122 bis 124. (Teste Suess, Bd. I, S. 16, 22; Bd. II, S. 277.)

3) Hull, E., On isodiametric lines, as means of representing distribution of sedimentary clay and sandy strata as distinguished from calcareous strata etc. Quart. Journ. geol. Soc., Vol. XVIII, London 1862, S. 127—146.

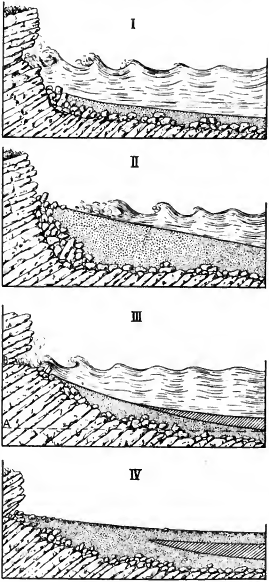
4) Dawson, J. W., Acadian Geology. 2. ed., 1868, S. 135—138.

5) Rutot, A., Les phénomènes de la sedimentation marine étudiés dans leur rapport avec la Stratigraphie régionale. Bull. Mus. Roy. Hist. nat. Belge, Tome II, Bruxellse 1883, S. 41—83.

— van den Broeck, E., Note sur un nouveau mode de Classification et de Notation graphique des dépôts géologiques, basée sur l'étude des phénoménes de la sedimentation marine. Ibid., S. 341.

einer weitgehenden Berücksichtigung aller bei diesen Erscheinungen mitwirkenden Faktoren.

Wenn man sich schematisch die außerhalb des Landes vor sich gehenden Ablagerungen veranschaulicht, kommt man zu folgenden von Rutot dargelegten Fällen, die durch beifolgende Schemata (Fig. 42) illustriert werden; natürlich ist dabei von den in der Natur stets vorhandenen Modifikationen abzusehen. Es lassen sich die Sedimentationserscheinungen längs einer Küste aus nicht allzu widerstandsfähigem Material und unter Beibringung von fluviatilem Material kurz etwa so charakterisieren:



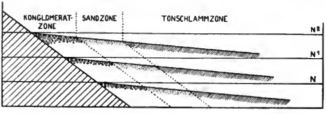
Fig, 42.

A. Es bildet sich, beginnend in der Zone des Meeresspiegels bei Hochwasserstand, ein litoraler Sedimentgürtel, dessen Breite proportional ist der Absenkungslinie der Küste, dem Ausschlag der Wogen nach der Tiefe und damit auch der Wogentätigkeit bei Stürmen; d. h. also je nach der Tätigkeit und Größe der Wogen und je nach dem größeren oder geringeren Gefälle

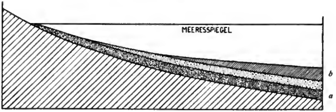
wird der unmittelbar an der Küste aufgeschüttete Gürtel breiter oder schmäler. Dieser Aufschüttungsgürtel besteht aus den allergröbsten Zerstörungselementen, die herrühren:

1. von den durch die Küstenzerstörung selbst gelieferten Materialien;
2. von den aus dem Inneren des Landes herbeigebrachten fluviatilen Geröllen.

Die den Gürtel auf diese Weise zusammensetzenden Partikel haben ein wechselndes Volumen, das abhängig ist von der mit der Konfiguration der Küste in Beziehung stehenden Tätigkeit der Brandung, sowie der Härte des Materiales und der Art des fluviatilen Transportes.



Figur 43.



Figur 44.

B. Außerhalb des litoralen Sedimentgürtels und mit ihm verschmelzend bildet sich eine lockere sandig-körnige Ablagerung, deren Masse um so geringer wird, je weiter man von der Küste sich entfernt und je mehr die Wassertiefe zunimmt.

C. Dann folgt, gleichfalls mit ihm verschmelzend, auf den sandigen Gürtel eine tonige Ablagerung, die ebenfalls immer feiner wird mit der zunehmenden Küstenentfernung und Wassertiefe.

Wenn sich eine Steilküste unmittelbar, ohne vorgelagerten Strand ins Meer absenkt (Fig. 42, I), so unterhöhlen die Brandungswogen dieselbe, und es brechen nach und nach von oben die Gesteine herunter. Im Wasser am Fuße der Steilküste bilden sie eine mehr oder minder ausgedehnte Konglomeratablagerung. Soweit sie noch der Bewegung durch die Wogen ausgesetzt sind, rollen sie sich ab. Die abgesprengten und abgeriebenen kleineren Partikelchen werden vom bewegten Wasser aufgenommen und etwas verschleppt, fallen aber alsbald zu Boden, die groben in unmittelbarer Nähe, die feinen weiter draußen. Verfolgt man den Vorgang weiter, so bewirkt jeder neue Gesteinsabsturz von der Küste ein Anwachsen der Konglomeratbank nach oben, wodurch sie

nach Verlauf einer gewissen Zeit bis zum Wasserspiegel heraufwächst und schließlich sogar etwas über ihn hinausragt. Nun nehmen diese Trümmer zunächst den Wogenanprall auf, schützen auf diese Weise die Küste, werden aber durch die Tätigkeit der Wogen herumgerollt, abgescheuert, bekommen die Gestalt von Rollkieseln, während die aus der Abnützung hervorgehenden feineren Materialien je nach der Suspensionsfähigkeit des Wassers und je nach ihrer Größe und Schwere meerauswärts abgesetzt werden. Schließlich erreicht auch die auf das Küstenkonglomerat folgende sandige Ablagerung das Niveau des Meeresspiegels und bildet eine Strandregion vor der Steilküste (Fig. 42, II).

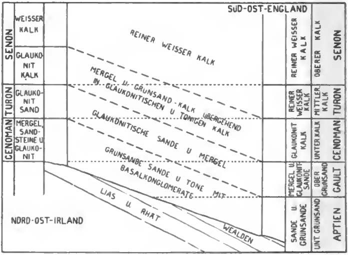
Es wird nun der Einfluß der säkulären Küstenschwankungen auf die oben geschilderten Verhältnisse untersucht. Es dringe ein Meer landeinwärts, sei es durch Hebung des Meeresspiegels oder durch Absenkung der Küste von A nach B, bzw. von B nach A (Fig. 42 III). Das Brandungsufer wird langsam landeinwärts verlegt. Der konglomeratige Küstengürtel wird also quer verbreitert, ebenso die feinere sandige und die feinste schlammige Zone (Fig. 42, III). Der erstere wird sich transgressiv auf die bisherige Landregion legen und die beiden übrigen werden sich entsprechend, in der Richtung auf die Küste zu, übergreifend aufeinanderlagern; d. h. also, die zuerst mit Geröll bedeckte Stelle wird in dem Maße, wie die Küste sich entfernt und das Meer sich vertieft, zuerst mit Sand, dann mit feinem Schlamm bedeckt. Es wird, wenn man sich das etappenweise veranschaulicht, das beistehende, Rutot entnommene Schema (Fig. 43) gelten, wobei N, N_1, N_2 die aufeinanderfolgenden Bewegungen der Küste und des Meerbodens bedeuten. Es kommt so die in Fig. 44 dargestellte übereinandergreifende Sedimentserie zustande. Die Neigung ist dem Schema zuliebe etwas betont, und wenn sich der Vorgang in der Natur auf kleinem Areal abspielt, mag er der Abbildung entsprechen. Sobald aber einigermaßen ausgedehnte Strecken in Betracht kommen, wird die Abweichung des Schichteinfallens von der Horizontalen kaum bemerkbar sein, und wenn darum eine solche Ablagerungsreihe fossil vorliegt, wird man ohne weiteres durchweg die Schicht *a* als die älteste, *b* als die jüngste ansprechen.

In Wirklichkeit sind aber die links gelegenen Teile derselben Schicht jünger, als die rechts gelegenen. Die linke Seite der unteren Konglomeratbank entspricht im Alter z. B. der linken Hälfte der anscheinend sie überlagernden Tonschlammbank, aber die linke Hälfte von *a* entspricht im Alter nicht der rechten Hälfte von *a*. Auf größere Entfernungen können bei diesem Wandern der Fazies nur Fossilien über die richtige zeitliche Aufeinanderbeziehung der Ablagerungen Aufschluß geben.

Zweierlei ergibt sich hieraus: man darf ein und derselben Fazies nicht über größere Strecken hin gleiches Alter zuschreiben: eine Warnung vor allzu weitgehender Anwendung der petrographischen Altersbestimmungsmethode (vgl. Kap. VIII); für den Paläogeographen wertvoll ist aber auch, daß man daraus auf die Richtung, in der die Transgression vor sich ging, zu schließen vermag. Denn je jünger das Transgressionskonglomerat, umso jünger der Eintritt der Überflutung. Ein Profil am rechten Ende der Fig. 44 wird dieselbe Schichtenfolge geben, wie in der Mitte, und zwar in der gleichen petrographischen Fazies, jedoch mit verschiedenem Fossilinhalt, vorausgesetzt natürlich, daß

die während der Transgression verflossene Zeit mindestens die Dauer einer Mutationsperiode der leitenden Organismen hat.

Neben vielen anderen Beispielen aus der Überlagerung des Paläozoikums über das Präkambrium in Nordamerika und Europa führt Grabau, der sich, ohne Rutot zu nennen, mit dem gleichen Thema jüngst befaßte[1]), auch die Kreidetransgression in England an, wo man beobachtet, wie die Unterkreide mit Konglomeraten das Wealden überlagert, während in Irland erst im Cenoman die Konglomeratbildung beginnt. Über dem grobklastischen Aptien in England folgt der Glaukonit und die Mergel des Gault, in Irland über dem Cenoman das dem irischen Gault analog ausgebildete Turon. Die beifolgende Fig. 45 aus Grabau veranschaulicht diese Beziehungen.

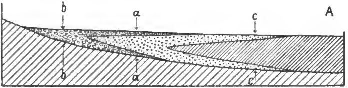


Figur 45.

Wenn nun nach dem Abwärtssteigen der Küste und des Meeresbodens eine Zeit der Ruhe eintritt, dann schichten sich die Fazies, ohne zu wandern, weiter auf und verdicken sich; und erst, wenn danach eine erneute Bewegungsperiode kommt, beginnt die Verschiebung des Ablagerungscharakters wieder. Erfolgt nun eine **Hebung** der Küste und damit eine allmähliche Verflachung, dann muß sich der umgekehrte Sedimentationsprozeß wie vorher abspielen. Der zuletzt gebildete, nicht weiter überdeckte grobe Konglomeratgürtel wird unter einiger Aufarbeitung durch die sich mehr und mehr zurückziehende Brandung trocken gelegt; wo kurz zuvor Sand abgesetzt wurde, werden jetzt grobe Rollsteine niedergelegt und über der nun in flachere Regionen gerückten feinen Schlammzone lagert sich Sand ab. An der der Küste nächstgelegenen Region und von da sukzessive landauswärts tritt der vorherige Meeresboden an die Oberfläche (Schema

1) Grabau, A. W., Types of sedimentary overlap. Bull. geol. Soc. America, Vol. XVII, Rochester 1906, S. 567—636.

IV, Fig. 42). Geht die Regression schrittweise vor sich, so ist ein Übergang von feinen in immer gröbere Sedimente in dem Profil nach oben verwirklicht, anderenfalls sind es plötzliche Übergänge. Weiter draußen im Meere, wo der Einfluß der Strandbildungen nichtmehr hinreicht, wird nach wie vor eine kontinuierliche Schichtserie ohne wesentlichen petrographischen Fazieswechsel zur Absetzung gelangen, und so bleibt dort stets eine Region übrig, die vom Fazieswechsel nichtmehr berührt wird. Nach Vollendung der rückläufigen Bewegung wird aber in der Küstenzone folgendes Schichtprofil (Fig. 46) vorhanden sein: Über einem basalen Konglomerat folgt in dem durch die Pfeile *a* angedeuteten Schnitt ein auf Vertiefung des Meeres deutender Sand, darüber zwischen *c c* ein auf ruhiges Tiefenwasser deutender Ton; es folgt weiter die rückläufige Sedimentationsphase mit einer spiegelbildlichen Anordnung derselben Serie. Bei Profilschnitt *b* ist eine einzige Konglomeratschicht vorhanden, die aber sowohl eine Trans-, wie eine Regressionsphase bedeutet, und in der Region *A* eine einheitliche Tonablagerung, welche die drei bei *a* und *c* verschiedenartig ausgebildeten Stufen zeitlich repräsentiert.



Figur 46.

Sehen wir nun von anderen Modifikationen ab, also z. B. von untergeordneteren Schwankungen innerhalb der Hauptamplitude oder von einem unvollendet bleibenden Absenken und Wiederaufsteigen, dann ist noch der weitere, von Rutot geschilderte Fall zu behandeln: wie sich die Sedimente verhalten, wenn mehrere ganze Oszillationen aufeinanderfolgen. Diese Betrachtung schließt an den in Fig. 42, Schema IV und in Fig. 46 dargestellten Zustand an.

Bei der abermaligen Rückkehr des Meeres werden zuerst die obersten Lagen des zuvor verlassenen Sedimentpaketes aufgearbeitet, es kommt also mindestens zu einer Umlagerung des Regressionskonglomerates und zu einer teilweisen Zerreibung desselben. Wenn dieses nicht dick genug ist, zu einer Aufarbeitung des darunter folgenden Sandes. Es lagert sich also eine neue Konglomeratzone ab, und je weiter das Meer landeinwärts schreitet und sich an der zuerst betrachteten Stelle vertieft, auch neuer Sand und dann Ton. Jedenfalls erfolgt so eine diskonforme Auflagerung der die neue Oszillationsperiode repräsentierenden Sedimente. Das alles kann sich in zahllosen Modifikationen und Kombinationen wiederholen, und das Resultat sind mehr oder minder vollständige Sedimentationszyklen.

Meer und Land haben zu allen Zeiten ununterbrochen gewechselt und das nicht nur im großen, sondern immerzu auch in kleinen und kleinsten Arealen, den mannigfaltigen Ursachen gemäß, die das bewirken. Jeder Wechsel von Land und Meer entspricht einer Verlegung der Erosionsbasis und führt dadurch zu einer Abminderung und zum

Erlöschen oder zu einer Steigerung der Abtragung. Das drückt sich unmittelbar im Charakter der in dem betreffenden Areale abgesetzten oder aus ihm heraustransportierten Sedimentmassen aus, und der mannigfaltige Wechsel von Land-, Süßwasser-, Brackwasser-, Küsten-, Flachsee- und hochpelagischen Ablagerungen an ein und derselben Stelle der Erde ist das Mittel, diesen Wechsel der Meer- und Landverteilung zu erkennen. Ein rasches Auftauchen von Land wird einen schroffen Wechsel, ein langsames einen allmählichen Wechsel in der Sedimentfolge mit sich bringen. Wir können auf Grund dieser Überlegung sowohl den obigen, aber auch einen zweiten Idealzyklus entwerfen, auf der Vorstellung fußend, daß neben einem Meeresbecken ein Land auftaucht. Solange das Land noch unter oder im Niveau des Meeresspiegels liegt und das daneben gelagerte Meeresbecken keine terrigene Zufuhr erhält, werden sich in ihm rein pelagische, also eventuell organogene Schlicke bilden. Das Land steigt, es beginnt alsbald eine schwache Erosion und feinkörniges terrigenes Sediment lagert sich über dem bisherigen pelagischen ab. Eine raschere und stärkere Aufwölbung des Landes, stärkere in ihm sich abspielende Dislokationen werden allmählich gröberes Sediment in das an seinem Rande liegende Meeresbecken bringen; dieses wird schließlich — unter der Voraussetzung, daß es keine Eigenbewegung macht — ausgefüllt, wird selbst zu Land, es bilden sich zuerst brackische, dann limnische oder fluviatile Ablagerungen, Verwitterungsschutt. Nehmen wir nun weiter an, das verlandete Meeresbecken sinke wieder, vom Lande komme immer noch das grobe Material herein, aber in dem Maße, als das Meer ausgefüllt werde, sinke sein Boden, das Land werde abgetragen, die Höhen auf ihm ausgeglichen und immer feineres Material setze sich ab, bis schließlich das Urland wieder abgetragen und in das Niveau des Meeresspiegels gerückt ist: dann lagern sich in dem Meeresbecken wieder rein pelagische Sedimente ab: der Zyklus ist geschlossen.

Es ist von vornherein selbstverständlich, daß eine ganze Menge zum Teil komplizierter Voraussetzungen erfüllt sein muß. damit in der Natur ein solcher Sedimentationszyklus auch wirklich zur Vollendung kommt, wie wir ihn uns soeben idealiter entwickelt haben. Das wird höchst selten der Fall sein, da weder das Land, noch das Meer bzw. sein Boden stetige und ununterbrochene Bewegungen machen, auch nicht unabhängig von einander sind. Es wäre ein leichtes, darzulegen, wie außerordentlich viel Unwahrscheinliches in dem Mechanismus steckt, den wir uns vorhin für das Zustandekommen unseres Idealzyklus konstruieren mußten. Ferner sind noch anders geartete Meer- und Landbewegungen denkbar, welche auch zu Sedimentationszyklen führen könnten, so daß das Auftreten eines solchen in der Reihe der Sedimentserien keine eindeutige Ursachenbestimmung zuläßt. Man darf ferner nicht übersehen, daß das Auftreten von grobem Material in einer Schichtserie nicht das Zeichen eines verflachten Meeres zu sein braucht, ebenso wie das Auftreten eines reinen pelagischen Sedimentes nicht unbedingt den Schluß auf ein landfernes tiefes Meeresgebiet erlaubt. Denn im einen Falle kann in ein sehr tiefes Meeresgebiet, das jedoch unmittelbar an der Küste liegt, reichlich grob terrigenes Material eingeschüttet werden, im anderen Falle kann ein relativ seichtes landnahes Meeresbecken mangels jeglicher terrigener Zufuhr rein pelagische Tiefenbildungen bergen. Die Ursachen zur Entstehung von Sedimentationszyklen und ihrer Einzelglieder sind also

außerordentlich verschiedenartig und darum hat das Wort Sedimentationszyklus fast in jedem Einzelfalle eine ganz eigene genetische Bedeutung.

Ja es können auch rein klimatische Perioden Sedimentationswechsel von zyklischem Charakter in einem landnahen Meeresgebiete hervorrufen. Vermehrte Niederschläge führen zu verstärkter Erosion, zum Anschwellen der Wasseradern, zum Transport gröberen Materiales. Fortschreitende Abkühlung in Verbindung mit den Niederschlägen zu Gletscherbildungen, die eventuell ans Meer vorstoßen; es kann rückläufig wieder wärmere und weniger niederschlagsreichere Zeiten gehen, die Flüsse schwächer werden, wie in früheren Zeiten, die Erosion sich abmindern; dem Meere wird nur feines detritogenes Material, zuerst nur Sand, dann nur noch Schlamm zugeführt. So kann sich auch auf diese Weise ein Sedimentationszyklus erfüllen, ja oftmals wiederholen, ohne daß die Ursache in einer Veränderung von Meer und Land gesucht zu werden brauchte.

Daß es in der Natur vielfach vollendete Sedimentationszyklen gibt, ist eine Tatsache; und daß sie sich an ein und derselben Stelle in rascher Folge wiederholen können, ist ebenso zweifellos. Die aus großen Einzelgliedern bestehenden und nur einmal, höchstens zweimal übereinander vorhandenen Zyklen, welche große Zeitalter repräsentieren, werden durch bedeutende Umsetzungen von Land und Meer zustandekommen. Jene dagegen, die aus einer oftmals wiederholten Reihenfolge mehr oder minder gleichartig wechselnder Schichten bestehen und als Ganzes nur eine verhältnismäßig kurze Zeitspanne umfassen, dürften rasch wechselnden periodischen Erscheinungen, also in erster Linie klimatisch-meteorologischen Rhythmen entsprechen.

Zu den ersteren gehört etwa die deutsche Trias und der Jura: zu unterst Landbildungen des Buntsandstein, höchstens mit schwachen Meeresablagerungen gelegentlich wechselnd; dann ein zunehmendes Eindringen des Meeres und seine Vertiefung, der Muschelkalk; ein Zurückweichen des Meeres, Land- und limnische Bildungen der Keuperzeit; folgend die Rhättransgression und die Juraformation mit mariner Sedimentfolge; im obersten Jura Trockenlegung und dann die Landablagerungen der unteren Kreide. Das ist ein großer anderthalber Zyklus, der zweifellos epirogenetischen Bewegungen seine Entstehung verdankt, aber seine Glieder sind untereinander ganz ungleichwertig — man vergleiche Muschelkalk und Jura — und zwar ungleichwertig sowohl hinsichtlich der Zeit, die sie repräsentieren, wie hinsichtlich der Bodenbewegungen bzw. Meeresbewegungen, die sie veranlaßt haben.

Einen anderen großen derartigen Zyklus, gleichfalls eine ungeheure Zeit umspannend, bilden nach Frech Silur und Devon in Europa[1]). Das Silur beginnt mit dem transgressiven armorikanischen Sandstein, es folgen die in mittleren Tiefen gebildeten Asaphus- und Cystideenschiefer und darüber die auf noch größere Tiefe deutenden Graptolithenschiefer. An der Silur-Devongrenze tritt ein Rückzug des Meeres ein, die Graptolithenschiefer fehlen in ihren oberen Teilen

1) Frech, F., Über die Entwicklung der silurischen Sedimente in Böhmen und im Südwesten Europas. N. Jahrb. f. Mineral. usw., Stuttgart 1899, Bd. II, S. 164—176.

vielfach, und es gab zum Teil wohl Trockenlegungen und Denudation. Dann setzt mit dem Devon eine Sandsteintransgression, grob klastisch. ein, und von da folgen alle Zwischenglieder bis wieder zu den hochpelagischen Ablagerungen der Goniatitensedimente.

Einen Zyklus im kleinen finden wir in den Ostalpen, wo seine Entstehung zweifellos mit Hebungen und Senkungen des Meeresbodens und zentralen Trockenlegungen (Geosynklinalgebiet!) zusammenhängt; schematisch stellt er sich folgendermaßen dar von oben nach unten:

Kalke und Kalkmergel des Lias (pelagisch).
Kössener Mergel und Korallenkalk (flache Meeresbildung, zum Teil Flachwasserschlick).
Plattenkalke und Hauptdolomit (freieres tieferes Wasser).
Raibler Rauhwacke und Gips (zum Teil stagnierendes Flachwasser).
Raibler Kalke und Mergel (im ganzen tieferes freieres Meer).
Raibler Sandsteine mit Pflanzenresten (flache strandnahe Region).
Muschelkalk-Wettersteinkalkserie (freieres reines Wasser).
Buntsandstein (Flachwasser und Strandregion).

Die einzelnen, den Zyklus markierenden Stufen sind weder gleichlang, noch bedeuten die korrespondierenden Stadien genau gleichartige Sedimentationsbedingungen. Je enger die Intervallen aufeinanderfolgen, umso mehr nähert sich das Bild des Sedimentationszyklus dem der Wechsellagerung. Betrachtet man nachfolgendes Profil des Alttertiär in Südwestfrankreich[1]). das kleinere und nicht sehr weitausgreifende Zyklen enthält:

Süßwasserkalk	Festland	Chattien
Ostreentone und Sande	Küstennahes Meer	Rupélien
Süßwasserkalk Molassesandstein Tone und Mergel	Festland Küstennahes Meer freieres Meer	Sannoisien
Sandiger Grobkalk	Küstennahes Meer	Ludien
Lakustre Mergel	Land	Bartonien
Mergel und Kalk Sande und Ton Echinidenkalk Sandsteine und Konglomerate	Küstennahes Meer oder Flachmeer freieres Meer Strandnahes Meer und Transgression	Lutétien
Basalfläche	Land	Prae-Lutétien

dann kann man schon im Zweifel sein, ob hier noch der Ausdruck Sedimentationszyklus am Platze ist, und er ist völlig unberechtigt, wenn wir folgende Senonserie[2]) Belgiens als Paradigma nehmen:

1) Zusammengestellt nach den Angaben in Haugs Traité de Géologie, S. 1459 bis 1460.

2) Rutot, A., Résultats de nouvelles observations sur le sous-sol de Bruxelles. Ann. Soc. géol. Belgique, Tome XIII, Liège 1886, S. 267—295.

Digitized by Google

Feiner Ton	0,37 m	
Schlammiger Sand	4,15 „	
Tonschlamm	0,50 „	
Sandiger Schlamm	0,50 „	
Feiner Schlamm ohne Sand	0,80 „	
Schlamm mit Sandkörnern	0,72 „	
Lage von Kieselsteinen	0,13 „	
Tonschlamm	0,35 „	
Lage von Kieselsteinen	0,15 „	
Weißer Sand	0,35 „	Unter-Senon
Tonig-sandiger Schlamm	0,60 „	20,52 m
Quarzsand und Schieferstückchen	0,50 „	
Tonschlamm, bituminös	1,10 „	
Feine Kieselgeröllage	0,10 „	
Feiner Tonschlamm	2,10 „	
Feine Kieselgeröllage	1,40 „	
Sandschlamm	2,30 „	
Kieselsteinlage	0,40 „	
Feiner Schlamm	0,80 „	
Kieselsteinlage	3,20 „	

Daß wir es hier in diesem Profil nichtmehr mit einem aus langfristigen Hebungen und Senkungen, sondern nur mit den Wirkungen klimatisch-meteorologischer Perioden von kürzerer oder kürzester Dauer zu tun haben, ist höchst wahrscheinlich.

Aber man muß auch weiter bedenken, daß alle Ursachen, die einen Zyklus einzeln für sich hervorzubringen vermögen, wohl niemals stets zu gleicher Zeit miteinander in Tätigkeit waren, daß sie selten einheitlich zusammenarbeiteten, sondern sich in den allermeisten Fällen durchkreuzten, und daß daher in jedem, auch dem reinsten Zyklus, diese heterogenen Elemente miteinander verwoben erscheinen. Wie will man also hieraus Gesetzmäßigkeiten ableiten und im einzelnen Falle mit Sicherheit daraus Schlüsse ziehen können? Möglichst rein und eindeutig entwickelt wird ein Sedimentationszyklus dann sein, wenn 1. ein Hauptentstehungsfaktor so dominiert, daß er die zu gleicher Zeit entstehenden Folgeerscheinungen der anderen praktisch unterdrückt; 2. alle zykluserzeugenden Faktoren gleichzeitig so zusammenwirken, daß sie im wesentlichen identische Ablagerungsprodukte schaffen. Außer diesen beiden Fällen wird nie ein reiner Zyklus in den Sedimentreihen entstehen, und es ist daher zu verwerfen, wenn man, ohne speziellere Studien im Einzelfalle, in Ablagerungszyklen ohne weiteres eindeutig festgestellte Rhythmen erblicken will oder gar ein mathematisch bestimmbares Zeitmoment unmittelbar herauszulesen versucht, wie das z. B. in recht primitiver Weise Mayer-Eymar getan hat (vgl. Kap. VIII).

b) Die Davis'schen Zyklen der Abtragung.

Im engsten Zusammenhange mit der Bildung von Sedimentationszyklen steht, wie wir uns soeben klar gemacht haben, der Denudationsprozeß auf den Festländern, der seinerseits abhängig ist von den Hebungen und Senkungen, sowie von den klimatisch-meteorologischen Zuständen. Davis — ich nenne ihn allein als Typus einer Richtung — hat diesen Denudationsprozeß in seiner reinsten Form schematisch dargestellt, und er und seine Schule haben versucht, dieses Schema deduktiv auf die wirklichen Befunde auf der Erdoberfläche anzuwenden. So sehr man über die damit praktisch gewonnenen Resultate im Einzelfalle streiten kann, so zweifellos wertvoll ist es, mit der Davis'schen Zyklen-

Digitized by Google

theorie abermals einen Faden aus dem komplizierten Ursachengewebe der Erdoberflächengestaltung bloßgelegt und in seiner Eigenart rein verfolgt zu sehen. Wir werden ihn jetzt für sich betrachten und nachher versuchen, ihn wieder am richtigen Platze in das Gewebe einzufügen.

Um sich das Prinzip der zyklischen Entwicklung und Rückläufe klar zu machen[1]), geht DAVIS theoretisch von der Vorstellung eines eben aus den ozeanischen Fluten ungleichmäßig aufgetauchten Kontinentes aus, der auf diese Weise ursprüngliche größere, jedoch nirgends schroff gegeneinander abgesetzte Höhendifferenzen aufweist. Dieses Land steht dann für lange Zeiten still. Diese Urlandoberfläche ist in statu nascendi gegliedert in Urhochländer und Urtiefländer, zwischen ihnen liegen als unregelmäßige Vertiefungen Urbecken und Urwannen, oder langgestreckte Ursenken, und das Meer bespült die Urküste. Es bilden sich alsbald in den Becken und Wannen die Urseen, in die aus den Urabdachungen der Höhen die Urbäche münden, und Urflüsse durchziehen die langen Senken. Wenn sie zusammentreffen, bilden sie das Urflußsystem, sonst sind sie getrennt durch die höheren Teile, die Urwasserscheiden.

Durch die Niederschläge, durch Winde, durch den sich vollziehenden Wechsel von trockenen und feuchten Klimaten, durch die lokalen oder weit um sich greifenden Gletscherbildungen, durch die Temperaturschwankungen etc. setzt nun die Erosion, Denudation und Deflation, die Verwitterung ein, während auch das Meer seinerseits den Angriff auf die Urküste beginnt. Die sich nun abspielenden Vorgänge sind als normale Erosion zu bezeichnen, d. i. die gesamte Verwitterung und Abtragung auf einem Lande mit normalem Klima. Unter letzterem ist zu verstehen ein Land, dessen Niederschläge so sind, daß stets ein nach dem Meere abfließender Überschuß von Wasser vorhanden ist, und dessen Temperaturverhältnisse derart sind, daß sich außer lokalen, beschränkten Gletschern keine Inlandeisdecken bilden. Dieses Normalklima kann nach zwei Richtungen hin ins Extrem gehen: in das glaziale und in das aride. Demgemäß zerfallen die Erosionsvorgänge in vier Gruppen:

a) der Zyklus der normalen Erosion,
b) der Zyklus der ariden Erosion,
c) der Zyklus der glazialen Erosion,
d) der Zyklus der marinen Erosion.

Es kann hier aber nicht unsere Aufgabe sein, den Verlauf dieser Zyklen im Detail zu verfolgen, sondern nur kurz anzudeuten, auf welchem Wege sie zu ihrem Endziele gelangen und wie dieses beschaffen ist. Durch die bekannten, in jedem Lehrbuch der allgemeinen Geologie oder der physischen Geographie nachzulesenden Vorgänge kommt so allmählich Schuttanhäufung und -wegführung, Ausnagung der Höhen und Täler zustande, wodurch anfänglich das Land immer reicher gegliedert wird: es entstehen aus den Urformen die konsequenten oder Folgeformen, und auch durch die Arbeit des Meeres an den Küsten die konsequente Küste. Diese Folgeformen sind durch drei Stadien zu charakterisieren:

1) DAVIS, M. W. und BRAUN, G., Grundzüge der Physiogeographie. Leipzig und Berlin 1911, S. 81 ff. — Geographical Essays. Gesammelte Abhandlung seit 1892 aus verschiedenen Zeitschriften. Ohne Jahreszahl erschienen bei Ginn & Comp., Boston, New York, Chicago, London. Herausgegeben von D. W. JOHNSON.

a) die jungen Landformen,
b) die reifen Landformen,
c) die alten Landformen.

In dem ersten, auf die Urform folgenden Stadium sind gemäß der ursprünglichen Entstehung durch tektonische Hebungen die Niveauunterschiede der ganzen in Betracht kommenden Fläche noch beträchtlich; Tiefländer und Gebirge liegen noch dort, wo sie ursprünglich lagen. Rasche Flüsse, grobe Schuttmassen, enge steilwandige Täler mit geringer Verzweigung, in den Urwannen ruhende, kaum durch Materialzufuhr an den Rändern eingeengte Seen, primäre Lage der Wasserscheiden rühren noch von der Urform her. Durch die fortschreitende Arbeit der Erosion werden die großen Züge im Antlitz der Landschaft verwischt; es tritt der Höhepunkt in der Detaildifferenzierung ein. Die Täler sind nun reich verzweigt, die Haupthöhen liegen nichtmehr notwendig an der Stelle der ursprünglichen, sondern dort, wo der Boden der Erosion am meisten Widerstand entgegenzusetzen vermochte. Die Täler sind breit, ihre Hänge flacher geneigt und reichlich mit Schutthalden bedeckt; die Flüsse sind langsam, und die Seen entweder wegen Durchnagung ihres Riegels oder infolge Schuttausfüllung verschwunden. So geht die Landschaft in den Alterszustand über. Die Höhen sind flach geworden, die Tiefländer liegen im weichsten Gestein, die Flüsse ziehen ohne bemerkbaren Materialtransport träge dahin. Alle Gegensätze, die auf dem Gesteinsmaterial des Untergrundes beruhten, sind verschwunden, die Landschaft ist im Stadium der Peneplain, der Fastebene, angelangt.

Im gleichen Sinne, wenn auch im einzelnen modifiziert, arbeitet die Eis-, Wind- und Temperaturerosion, und das Meer selbst schafft zuweilen landeinwärts auf das gleiche Endziel hin. Dies ungefähr der Gedankengang von Davis.

Das Ausreifen eines solchen Davis'schen Zyklus — nehmen wir einmal allein den der normalen Erosion — wird abhängig sein von einem durch lange Zeiten hindurch unbeweglich bleibenden Meeresspiegel, zu dem die Flüsse des betreffenden Gebietes ablaufen, wird also abhängig sein von dem völligen Ruhen epirogenetischer und orogenetischer Bewegungen, die zu Dislokationen führen könnten. Ob das jemals in der Erdgeschichte verwirklicht war, ist kaum zu entscheiden, aber unwahrscheinlich. Aber es ist auch denkbar, daß die geotektonischen Bewegungen eines in Abtragung befindlichen Landsockels bzw. die Verlegung des Meeresspiegels so langsam vor sich ging, daß die Denudation in allen ihren Formen Zeit genug fand ihr Werk zu vollenden, demnach so rasch zu arbeiten, daß die Störungen das Endresultat nicht endgültig hinauszuschieben vermochten. Solche Fälle sind zweifellos in der Erdgeschichte vorhanden, wie das Folgende zeigen wird.

Nach Wilson ist der alte kanadische Schild ein Gebiet von 3000000 Quadratmeilen, eine uralte Peneplain[1]), die verschiedene Differentialhebungen erlebte und immer wieder ausgeglättet und immer wieder an ihrem aufgebogenen Rande eingeschnitten wurde. Das alles verlief nicht durchweg gleichzeitig. Dem Südrande entlang zwischen Montreal und Winnipeg findet man die Spuren von vielleicht

1) Wilson, A. W. G., The laurentian peneplain. Journ. of Geology, Vol. XI, Chicago 1903, S. 615—669.

Digitized by Google

mehreren Peneplainanlagen von frühestem Datum, auf denen schon die paläozoischen Sedimente abgesetzt wurden, die aber längst wieder abgetragen sind; jetzt befindet sich diese Gegend wieder im Jugendstadium eines neuen Zyklus. Das ist an vielen anderen Stellen ebenso, zugleich ist die ihres Sedimentmantels beraubte archäische Gesteinsfläche vielfach mit Glazialschrammen überzogen und mit Glazialmaterial überschüttet. Die paläozoischen Sedimente bedeckten ursprünglich viel größere Teile des Schildes und erstreckten sich auch in sein Inneres. Am Beginn des Untersilur lag der größere Teil über dem Meeresspiegel und dies seit der frühkambrischen Zeit. Die untersilurische Transgression ersetzte die bis dahin subaërisch denudierte Oberfläche nicht, wie man meinen sollte, durch eine marine Abrasionsfläche, während im Innern, wohin die Meeresbedeckung nicht vordrang, die subaërisch erzeugte Fläche etwa bestehen blieb; vielmehr liegen die untersilurischen Marinkalke unmittelbar auf der vorsilurischen Landfläche, ohne daß deren Material als untersilurisches Transgressionskonglomerat aufgearbeitet worden wäre, und Crinoiden, wie Korallen sitzen in manchen Fällen unmittelbar der archäischen Gesteinsfläche auf. Es muß demnach eine ganz plötzliche Überschwemmung stattgefunden haben, ohne daß es zur Bildung einer marinen Abrasionsfläche und eines Transgressionskonglomerates kam. Bis zum Ende der Silurzeit war auch die Mitte des Gebietes unter Wasser und nur der Osten und Westen lagen trocken. Um die Hudsonbai herum mußte aber alsbald eine erneute vorübergehende Trockenlegung erfolgt sein, wobei die Silursedimente sofort entfernt wurden, denn auch Devonkorallen finden sich dort wieder den archäischen Gesteinsbuckeln unmittelbar aufgesetzt. Die unsere Peneplain an allen Seiten flankierenden devonischen Sandsteine zeigen, daß wenigstens ein Teil der Devonzeit über die mittleren Gebiete wieder der subaërischen Verwitterung ausgesetzt waren. Der größte Teil des ganzen Gebietes aber war seit dem Ende der Devonzeit bis zum Beginne des Pleistocäns von Meeresbedeckung frei.

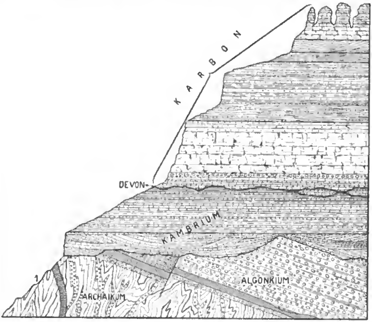
c) Die großen erdgeschichtlichen Zyklen und Diskordanzen.

Die denudierenden Kräfte streben danach, jede Erhebung bis auf den Meeresspiegel herab zu erniedrigen. Die so im Laufe der Zeiten abgetragenen Massen ruhen dann als Sedimente im Meer. Taucht der Meeresboden auf, epirogenetisch oder orogenetisch, dann beginnt der Kreislauf von neuem. Sinkt eine Peneplain oder ein Rumpfland unter den Meeresspiegel bzw. transgrediert ein Meer darüber, so lagern sich auf den stets dislozierten oder sogar gefalteten Resten die neuen, jüngeren Sedimente ab; und wird die Region später wieder gehoben und zu Dauerland, dann liegen über den abradierten Schichtköpfen Diskordanzen — die Grenze zwischen zwei großen Weltzyklen.

Grenzen solcher großen Zyklen können wir im Felsgerüste der Erde oftmals feststellen. So liegt schon im Grand Cañon in Nordamerika (Fig. 47 nach Frech) über gefaltetem und wieder abgetragenem Archaikum diskordant das ebenfalls gestörte und denudierte Algonkium; diskordant darüber das Paläozoikum, und innerhalb des Paläozoikums wieder eine starke Erosionsdiskordanz, in der das Silur ganz und das Devon bis auf schwache Reste fehlt. Auch innerhalb des Archaikums und Algonkiums sind eine größere Zahl solcher durch Dis-

Digitized by Google

kordanzen angezeigten Zyklen nachweisbar. Nach Ablagerung[1]) des Silur finden wir in Europa die sogenannte kaledonische Gebirgsbildungsphase und wieder sank das alsbald abgetragene Land unter den Meeresspiegel, damit sich jüngere Formationsbildungen diskordant darüber lagerten. Im Karbon Europas folgten abermals Störungen, die zur Auffaltung der armorikanisch-variszischen Gebirgszüge führten, und schon wieder ruht das Perm mancherorts diskordant über den abgetragenen Karbongebirgsstümpfen und auf den paläozoischen Vorläufern auch unserer Alpen. In Frankreich liegt über Untersilur der



Figur 47.

Jura, in Südafrika über der vom Paläozoikum bis in den Jura reichenden terrestren Karrooformation die marine untere Kreide. Im westlichen Nordamerika ist die oberste Kimeridgezeit eine Phase der Hebung und Gebirgsfaltung, über der schon wieder das Obertithon einheitlich mit der Unterkreide transgrediert[2]); in Deutschland ist der oberste Jura Hebungszeit. Die höhere Unterkreide und das Cenoman transgredieren; in dem Gebiet, wo sich die ostalpinen Trias-Jurasedimente ablagerten, ist nach dem Neokom Hebung eingetreten und erst das Cenomanmeer kehrt hier zurück.

1) Suess, E., Über unterbrochene Gebirgsfaltung. Sitzber. K. Akad. Wiss. Wien, I. Abt., 1886, S. 111—117.
2) Haug, E., Portlandien, Tithonique et Volgien. Bull. Soc. géol. France, Sér. 3, Tome XXVI, Paris 1898, S. 197.

Digitized by Google

Dieses immer sich wiederholende Eintreten von Zeiten der Bewegung und Auffaltung nach Zeiten relativer Ruhe, in denen die Denudation arbeitet, nennt man Diastrophismus. WILLIS unterscheidet[1]) drei große Zyklen vom Spätpräkambrium bis zum Schlusse des Mesozoikums. Jeder große Zyklus besteht aus einer langen Aktivitätsperiode und einer noch längeren Ruheperiode in folgendem Sinne:

Spätpräkambrische Aktivität (offenbar ziemlich allgemein) Kambrische und ordovizische Inaktivität (allgemein)	n^{ter} Zyklus.
Silurische und devonische Aktivität (charakterisiert durch zirkumpolare Ruhe im Norden) Spätdevonische und frühkarbonische Inaktivität (allgemein)	$(n+1)^{ter}$ Zyklus.
Spätkarbonische und frühmesozoische Aktivität (nicht gleichzeitig in den verschiedenen dynamischen Provinzen) Spätmesozoische und frühtertiäre Inaktivität (allgemein)	$(n+2)^{ter}$ Zyklus.
Spättertiär und Quarternär konstituiert die Anfangsaktivitätsperiode des	$(n+3)^{ter}$ Zyklus.

Diese Zyklen sind nach WILLIS, soweit sich bisher erkennen läßt, mit geringen Ausnahmen auf der ganzen Welt ausgeprägt, aber ihre äußersten Grenzen fallen nicht überall zusammen; und auch innerhalb derselben spielen sich Bewegungen ab, die in den verschiedenen Weltteilen interferieren. WILLIS nennt diese untergeordneteren Teilbewegungen Epizyklen. Sie bestehen in kürzeren Hebungs- und Senkungsperioden. Das westliche Europa und das östliche Nordamerika haben eine koinzidente diastrophische Vergangenheit, aber die atlantische und pazifische Seite des letztgenannten Kontinentes verhielten sich in dieser Hinsicht verschieden. Auf die gleichzeitigen diastrophischen Perioden unterworfen gewesenen Länder im Osten und Westen des Atlantik ist aber bekanntlich unsere geologische Zeitskala gegründet, und die hierbei maßgebend gewesenen Epizyklen hatten vielfach eine kürzere Dauer, als die in obigem Schema als universell bezeichneten, und darum fallen die Grenzen unserer Zeittabelle nicht genau mit den oben bezeichneten der Hauptzyklen zusammen. Die Länder um das Polarmeer herum haben keinen Anteil an den atlantischen Bewegungen des Silur, Devon und Spätpaläozoikums. Die Länder um den Pazifik herum zeigen am Schluß des Paläozoikums verhältnismäßige Ruhe, während in den atlantischen Regionen deutliche Diastrophismen eintreten; dagegen wurden die pazifischen Gegenden im Mittelmesozoikum bewegt, während in dieser Zeit Ruhe um den Atlantik herum herrschte usw.

Die Epizyklen spielen sich also, im Gegensatz zu den Zyklen als Ganzes, wie WILLIS meint und wie schon erwähnt wurde, nicht gleichzeitig und unabhängig von einander ab, und dies oft auch nicht einmal in nächst benachbarten Räumen. Kleinste Teile der Kruste verhalten

1) WILLIS, B., Principles etc., a. a. O. S. 246ff.

sich verschieden. So gehen in der großen, sich von Südasien durch die Mediterranregion hindurch und in Mittelamerika wieder nachweisbaren Geosynklinale (Tethysmeer), das jetzt durch die jungen eurasischen Gebirgsfalten bezeichnet ist, zwischen mittlerem und jüngerem Mesozoikum Bodenbewegungen vor sich, die sich wahrscheinlich bis Südamerika in die Anden erstreckten; die angrenzenden Kontinentalregionen aber bleiben in Ruhe. Wir erkennen jenes verschiedenartige Verhalten benachbarter Zonen ja auch an der Verteilung der Kettengebirge, die sich als relativ schmale Streifen von der Erdoberfläche abheben. Die Bewegungen, welche zu ihrer Auffaltung geführt haben, müssen demnach lokal ziemlich beschränkt gewesen sein, und das entspricht auch den Anschauungen, die wir im Abschnitt dieses Kapitels mitteilten. Also auch die großen gebirgsbildenden Bewegungen sind nicht universell, nicht gleichzeitig und eignen sich nach Willis nicht zur Altersparallelisierung, zur Einteilung in Perioden. Wissen wir doch, daß nicht einmal das Auftauchen und die Faltung der Ost- und Westalpen gleichzeitig und gleichartig erfolgte. Ebenso können wir, sagt Willis, die karbonischen Faltungen Englands nicht sicher mit denen der Appallachen im Alter parallelisieren, obwohl beide in dieselbe diastrophische Region und zu ein und derselben geodynamischen Provinz (nordatlantische Region) gehören.

d) Die archäischen und algonkischen Weltzyklen.

Früher nannte man alles, was unter dem Kambrium liegt, kurzweg „Archaikum“, heute trennen wir zwischen diesem und jenem eine zuweilen 8—9000 Fuß mächtige Serie als Präkambrium, Huronium oder besser Algonkium[1]) ab und setzen ein Archaikum als spezielles definierbares ältestes Zeitalter darunter.

Das Archaikum umfaßt einen gelegentlich bis 8000 oder noch mehr Meter Mächtigkeit (ungefaltet!) erreichenden Gesteinskomplex von teilweise unbekannter Entstehung, zusammengesetzt aus stets metamorphosierten Gesteinen, hervorgegangen sowohl aus Eruptiva, wie auch aus Sedimenten; unter letzteren finden wir besonders Glimmerschiefer, Schiefer, Grauwacken, Konglomerate, Dolomite, Marmorkalke. Trotz ihrer primären genetischen Verschiedenheit zeigen die archäischen Formationen dadurch eine gewisse äußere Übereinstimmung, daß sie geschiefert und daher spaltbar, krystallin und überall stark gestört und gefaltet sind, durchdrungen und vergesellschaftet von zahlreichen eruptiven Massenausflüssen und Intrusionen, die ebenfalls stark metamorphosiert und darum den ursprünglich sedimentären, jetzt gleichfalls metamorphosierten Gesteinen oft außerordentlich ähnlich, ja von ihnen gar nicht mehr zu unterscheiden sind, wenn auch die letzteren gelegentlich ihre ursprüngliche Schichtstruktur noch beibehalten haben.

Wenn auch nicht überall, so liegt doch vielfach der ganze, uns bekannte archäische Gesteinskomplex diskordant zum Algonkium, letzteres u. a. in dem S. 253 abgebildeten Grand-Cañonprofil in Arizona, oder in Schottland, während im westlichen Faltengebirge Nordamerikas neben diskordanten auch völlig konkordante Übergänge zwischen

1) Sederholm, J. J., Några ord angående gneisfrågan och andra urbergsspörsmål. Geol. Fören. i. Stockholm Förhandl., Bd. XXX, 1908, S. 156. Referat von Bergeat im N. Jahrb. f. Mineral. usw. 1911, Bd. I, S. 60.

Archaikum und Algonkium, ja auch noch zwischen letzterem und dem Kambrium gefunden worden sind, so daß dort die drei großen Weltalter eine einheitliche Serie bilden würden; das gleiche gilt von Irland und Westskandinavien. Durch die Diskordanzen wird vielfach eine scharfe Trennung der beiden Weltalter möglich, umso mehr, als das Algonkium weder so stark gefaltet, noch so durchgehend metamorphosiert ist, wie das Archaikum.

Trotz dieser deutlichen Abgrenzung nach oben, die natürlich ohne Fossilien durchgeführt werden muß, bildet das Archaikum keineswegs einen einzigen einheitlichen Formationskomplex, sondern enthält selbst wieder gewaltige Diskordanzen, die auf große Umsetzungen von Land und Meer, Gebirgsbildungen und Abrasionszyklen hinweisen. Mindestens zwei Hauptdiskordanzen, vermutlich aber noch mehr, wie aus einer Mitteilung[1]) des erfolgreichen nordischen Forschers Sederholm hervorgeht, sind anzunehmen, und ihre Zahl dürfte sich erhöhen, wenn es erst gelungen sein wird, das Archäikum stratigraphisch noch genauer zu analysieren.

Die in den späteren fossilführenden Zeitaltern anwendbare und allein zuverlässige stratigraphische Parallelisierungsmethode versagt im Archaikum bei der Abwesenheit aller Fossilspuren gänzlich, und darum haben alle Einteilungen nur lokalen Wert. Wenn wir auch auf Grund deszendenztheoretischer Gedankengänge bis jetzt zu der Annahme neigen, daß in jenen altersgrauen archäischen Zeiten sich die früheste Entwicklung der Lebensformen bis zur Herausarbeitung der im Algonkium in Spuren nachweisbaren, im Kambrium voll entwickelten zoologischen Typen vollzog[2]), so haben wir doch nicht den allergeringsten empirischen Anhaltspunkt für das tatsächliche Vorhandensein von Lebewesen in jener Zeit. Sie fehlen im archäischen Gestein entweder deshalb, weil es keine gab, oder weil sie nackt und darum nicht versteinerungsfähig waren, oder weil etwaige fossile Überreste beschalter Tiere infolge des Gesteinsmetamorphismus unkenntlich geworden und so für uns praktisch verloren sind, was zum Teil auch auf das folgende Zeitalter, das Algonkium, zutrifft[3]).

Die Amerikaner[4]) zerlegen das Archaikum in zwei Unterabteilungen, von denen es jedoch noch nicht überall sichergestellt ist, ob sie auch durchweg aufeinanderfolgenden Zeiträumen entsprechen. Zu unterst das Keewatin, welches der Hauptsache nach aus anscheinend weniger metamorphosierten, vulkanisch aussehenden Grünsteinen besteht, dazwischen zuweilen Schiefer; es ist also ein nicht in der Tiefe gebildetes Gesteinsmaterial. Zu oberst das Laurentium, aus Granit, Gneis und farbigen Schiefern bestehend. Daß das Laurentium im allgemeinen jünger ist, ist daraus ersichtlich, daß dort, wo man beide Stufen zusammentreten sieht, die letzteren in jenen intrusiv

---

1) Sederholm, J. J., Några ord angående gneisfrågan och andra urbergsspörsmål. Geol. Fören. i. Stockholm Förhandl., Bd. 30, 1908, S. 156. (Referat von Bergeat im N. Jahrb. f. Min. etc., 1911, I, S. 60.)

2) Daher der von Chamberlin & Salisbury geprägte Ausdruck „archäozoisch", der also hypothetischen Sinn hat.

3) Daher die von Haug geschaffene Bezeichnung „agnotozoisch".

4) van Hise, Ch. R., Archaean and Algonkian. Bull. U. S. geol. Surv., No. 86, Washington 1892, S. 493.

— van Hise, Ch. R., and Leith, Ch. K., Precambrian Geology of North America. Ibid., No. 360, 1909, S. 29/30.

Digitized by Google

erscheinen. Das Liegendste, was man vom Archaikum kennt, das Keewatin am Lake superior, in Ostkanada, Pennsylvanien, Carolina, Colorado ist sowohl sedimentären, wie eruptiven Ursprungs, wenn auch die Eruptiva bei weitem überwiegen; in Schottland und Finnland bilden ebenfalls ausgesprochene Sedimentärgesteine mit die Basis aller präkambrischen Gesteine.

In Finnland teilt man nach den glänzenden Untersuchungen von Frosterus[1]), Sederholm[2]) und Ramsay[3]) ein:

		Westfinnland	Ostfinnland
Große Diskordanz gegen jüngere Formationen			
Bottnische Stufe (Neoarchäisch)	Sog. Schieferformation (Ramsay)	Jüngeres Grundgebirge Tammerfors-Schiefer, Uralporphyre Konglomerate Große Diskordanz	Grundgebirgsgranite (Es fehlen die zugehörigen Schiefer)
Ladogische Stufe		Ältere archäische Granite Ältere Schiefer	Phyllite, Glimmerschiefer, Gneisse, Quarzite, Konglomerate, Dolomitische Kalke
Große Diskordanz			
Katarchäische Stufe (Basalkomplex)		Granite, Gneisgranite mit metamorphen Magmagesteinen	

Die unterste Stufe der Gneisgranite ist stark disloziert und gefaltet und läßt infolge intensivster Metamorphose nur äußerst selten in gewissen Gesteinen ehemaligen Sedimentcharakter erkennen — aber immerhin, er ist nachweislich dazwischen vorhanden.

Eine scharfe Diskordanz trennt diese älteste katarchäische Stufe vom höheren Ladogien, in dem die Schiefer vorherrschen, abermals durch eine ziemlich umfassende Diskordanz von der neoarchäischen bottnischen Stufe getrennt. Hier ist für den Paläogeographen von ganz besonderem Interesse die von Sederholm so ausgezeichnet durchforschte Konglomeratformation von Tammerfors, die sich mitten durch die metamorphosiertem Schiefer zieht und hauptsächlich aus porphyrischen und granitischen, aber auch phyllitischen und leptitischen Geröllen zusammengesetzt ist. Die Altersfolge bzw. der Altersunterschied zwischen der ladogischen und bottnischen Stufe geht aus der Tatsache klar hervor, daß die Eruptivgesteine der ersteren nirgends in die der

1) Frosterus, B., Bergbyggnaden i sydöstra Finland. Bull. Commiss. géol. de Finlande, No. 13. Helsingfors 1902. (Mit deutschem Resumé.) (Ausführliches deutsches Referat im N. Jahrb. f. Mineral. etc. 1903, Bd. 1, S. 73—78.)

2) Sederholm, J. J., a. a. O. und: Über eine archäische Sedimentformation im südwestlichen Finland und ihre Bedeutung für die Erklärung der Entstehungsweise des Grundgebirges. Bull. Comm. géol. de Finlande, No. 6. Helsingfors 1899. (Deutscher Text.)

— Über den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnis der krystallinischen Schiefer von Finnland. Compt. rend. IX. Congr. géol. intern. Wien 1903, Bd. II, Wien 1904, S. 609—630.

3) Ramsay, W., Über die präkambrischen Systeme im östlichen Teile von Fennoskandia. Centralbl. f. Mineral. etc. 1907, Bd. VIII, S. 33—41.

letzteren eindringen und daß weiter die Konglomerate des Bottniums aus bereits metamorphosiertem ladogischem Gestein bestehen. Geht schon hieraus das außerordentlich hohe Alter der einzelnen aufeinanderfolgenden archäischen Stufen hervor, so nicht minder auch die Größe der Zwischenräume, die sich als Lagerungsdiskordanzen zu erkennen geben. Es müssen sich nicht nur die einzelnen Stufen abgelagert und metamorphosiert haben, ehe die nächste folgte, sondern es müssen auch Gebirgsbildungen vor sich gegangen sein und dann ein großer Erosionszyklus sich abgespielt haben. Es repräsentiert also jede Stufe den vollen geologischen Kreislauf der Lithogenesis, Orogenesis und Glyptogenesis; wir können im Archaikum Finnlands also mit Haug drei vollendete große geologische Zyklen erblicken.

Es ist zur Zeit noch eine ganz undurchführbare Aufgabe, Meer- und Landverteilung zur archäischen Zeit verfolgen zu wollen. Wir können zwar in den einzelnen Profilen der ganzen Welt, soweit Archaikum vorkommt und beschrieben ist, festzustellen suchen, welche Gesteine sedimentären und welche rein vulkanischen Ursprunges sind und so für die einzelne Gegend gewisse Wahrscheinlichkeiten der Land- und Meerverteilung angeben. Wir können die Konglomeratlagen aufsuchen und damit Küstenlinien angeben. Wir können auch mit aller Bestimmtheit sagen, daß die im Archaikum vorkommenden Diskordanzen Festlandsperioden und Erosionszyklen bedeuten und danach eine Zeiteinteilung versuchen. Was wir aber nicht können, das ist das Parallelisieren der einzelnen Profile, und mit dieser Unmöglichkeit ist es uns auch versagt, den Land- und Meereswechsel für die ganze Erde gleichzeitig darzustellen. Aber sollten schließlich auch einmal zuverlässige Altersparallelisierungen im Archaikum durchgeführt werden können, so müssen die einer paläogeographischen Rekonstruktion entgegenstehenden Schwierigkeiten fast noch ins Ungemessene steigen, wenn auch für archäische Massive die Verfrachtungstheorie gelten soll, wonach anstehende archäische Gebirgsmassen ortsfremde Komplexe wären, wie das Termier und Boussac für das Krystallin der ligurischen Alpen nunmehr fordern[1]), und was in etwas weniger extremer Form auch Törnebohm für das skandinavische Präkambrium nachgewiesen hat[2]). Jedenfalls können wir uns zur Zeit weder eine zuverlässige Vorstellung über die Bildung, noch über das relative Alter aller einzelnen archäischen Vorkommen machen, und es besagt in diesem Zusammenhang verhältnismäßig wenig, wenn Lapparent[3]) darauf hinweist, daß sich die archäischen Vorkommen gerade auf der Nordhalbkugel und zwar besonders in der kälteren Zone so außerordentlich anreichern; da diese Regionen bis heutigen Tages von Gebirgsbildung verschont geblieben seien, sich also wie starre Klötze verhalten, könne man schließen, daß sich dort oben zu archäischer Zeit die ersten Festlandskerne herausgebildet haben. Wie man deren Lage vielleicht noch genauer bestimmen kann, zeigt für die jüngste unmittelbar voralgonkische Zeit folgender Gedankengang.

---

1) Termier, P. et Boussac, J., Le massif cristallin ligure. Bull. Soc. géol. France (4), Tome XII, 1912, S. 272—311. (Mit Karte.)

2) Törnebohm, A. E., Über die große Überschiebung im skandinavischen Faltengebirge. Compt. rend. IX. Congr. géol. intern. 1903, Wien 1904, Fasc. II, S. 521—528. (Mit Karte.)

3) Lapparent, A. de, Traité de Géologie, Tome II, 5. édit., Paris 1906, S. 734.

Wenn wir auch von der Geographie des Archäikums so gut wie nichts wissen: das eine ist sicher, daß eine geradezu universelle Gebirgsfaltung in diesen Zeiten auf der Erde vor sich ging. deren Abtragung die großen Diskordanzen hervorrief, die wir innerhalb der archäischen Gesteinsserie selhst antreffen, wie auch die, welche vielfach das Algonkium vom Archaikum trennt. Ich erinnere an das Grand Cañonprofil. Der ältesten algonkischen Zeit war somit gewissermaßen die Aufgahe zugefallen, die noch stehenden archäischen Falten ahzutragen, Ahrasionsflächen zu schaffen und ein grohes klastisches Sedimentmaterial abzulagern. Wo wir also Algonkium diskordant auf abradiertem Archaikum liegen sehen, muß zu Beginn der algonkischen Zeit Festland und eventuell auch gefaltetes Festland gelegen haben.

Wir können zweierlei Angrenzung des Algonkiums an das Archaikum feststellen: eine diskordante und eine konkordante; dementsprechend ist auch der Gesteinscharakter verschieden. „Wo das Algonkium[1]) diskordant zum Archaikum liegt, ist es gewöhnlich durch Sandsteine, Quarzite und, vor allem an der Basis, durch Konglomerate vertreten. Wenn es dagegen mit dem Archaikum konkordant liegt, ist es als eine mächtige Schieferserie entwickelt, die unzweifelhaft durch Druckschieferung aus tonigen Ablagerungen hervorging.“ Diskordant zum Archaikum liegt das Algonkium in Canada, im Grand Cañon, in England, Schweden, Finnland und China; konkordant in Skandinavien und Zentraleuropa.

Nach den gründlichen Aufnahmen der englischen Landesuntersuchung[2]) hahen wir in dem nordwestlichen schottischen Hochland folgendes Profil:

III. Cambrium	3. Dolomite und Kalksteine mit einzelnen fossilführenden Lagen. 2. Serpulitsandstein mit Fucoideu-Schichten; Olenellus-Fauna. 1. Quarzite mit Wurmröhrenausfüllungen im oberen Teil; im unteren kreuzgeschichtete Sandsteine.
Diskordanz. Marine Ahrasionsfläche.	
II. Torridonian (Algonkium)	3. Sandsteine und schwarze Glimmerschiefer. 2. Dicke Serien von grohkörnigen Sandsteinen mit Konglomerathändern. 1. Dunkle Schiefer mit Kalkhändern, feinkörnige Sandsteine; Sandsteine mit krystallinem klastischem Material zu unterst.
Deutlich ausgeprägte Diskordanz. Stark erodierte Landoberfläche.	
I. Lewisian (Archaiknm)	2. Mächtige Massengesteine, im vorigen intrusiv. 1. Fundamentaler Komplex, zusammengesetzt aus: a) hauptsächlich Gneisen, chemisch-mineralogische Verwandtschaft zu plutonischen Gesteinen zeigend; h) teilweise auch krystallinen Schiefern, wohl sedimentären Ursprnngs.

Nach der lewisischen (archäischen) Zeit, bzw. mit deren Ende, machte sich auf dem schottischen Festlande ein starker Vulkanismus

1) Haug, E., a. a. O. S. 577.

2) Peach, B. N., Horne, J. etc., The geological structure of the Northwest Highlands of Scotland. Edited hy A. Geikie. Mem. geol. Survey Great Britain, London 1907, S. 9/10.

Digitized by Google

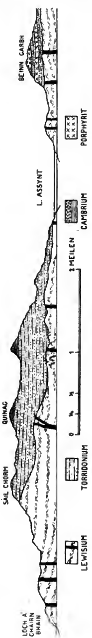
geltend und gleichzeitig eine intensive, weite Niederungen und flache Hügelländer schaffende Erosion. Denn der bis 300 m mächtige algonkische Torridonsandstein liegt in Erosionsmulden des lewisischen Untergrundes, ja zum Teil in Taschen und Rillen, diskordant zu dessen denudierten Falten, wie die nebenstehende, aus dem zitierten Werke von PEACH und HORNE entnommene Abbildung (Fig. 48) zeigt.

Auch in Finnland ist eine genauere Einteilung durchgeführt. Dort kann man dank den exakten Untersuchungen der schon beim Archaikum genannten Forscher eine Dreiteilung des algonkischen Systems durchführen:

Hangendes: Palaeozoikum		
Diskordanz		
Jotnisches System		Sandsteine, intrusiver Diabas und Granit etc., Konglomerate
Diskordanz		
Jatulisches System	Obere, Onega-stufe	Effusiver Basalt, intrusiver Diabas etc. Dolomit, Anthrazit, kohlereiche Schiefer
	Untere eigentliche Jatulische Stufe	lokaler Kalksandstein, Dolomit und dolomitischer Kalk Mergel, kalkiger Tonschiefer, Diabas, Quarzitsandstein, Quarzit, Konglomerate und regenerierter Verwitterungsschutt
Diskordanz		
Kalevisches System		Tonschiefer, Glimmerschiefer, Kalksandstein, dolomitische Kalke, Mergel, Quarzit, Quarzitschiefer, Konglomerate mit wechselndem Diabas etc.
Diskordanz		
Liegendes: Bottnisches Grundgebirge des Archaikums		

Die Gesteine des Kaleviums sind alle stark disloziert, gefaltet und metamorphosiert. Die Konglomerate, von denen ein Vorkommen in Lappland nebenbei (Fig. 49) (nach SEDERHOLM) abgebildet ist, sind zusammengesetzt aus dem durch Diskordanz getrennten Liegenden, und auch hier, wie in den schon früher erwähnten Konglomeraten des Archaikums selbst, waren die Gerölle schon beim Entstehen metamorphosiert. Der Vulkanismus mußte im Kalevium schon bedeutend abgenommen haben, denn Granit tritt hier nichtmehr intrusiv, sondern nur als Geröll auf sekundärer Lagerstätte auf. Daß die archäischen Faltengebirge schon vor der kalevischen Zeit abgetragen waren. beweist der Umstand, daß nicht nur das unmittelbar Liegende, sondern auch tiefere archäische Gesteine die Komponenten der Konglomerate bilden. Die alten archäischen Falten laufen NO.—SW., die kalevisch-jatulischen aber fast rechtwinkelig dazu, und es ist zugleich von großem geomorphologischen Interesse, wie diese uralten NO.—SW. bzw. NNO.—SSW. streichenden abgehobelten Faltenzüge noch das Relief und den Umriß des heutigen

Landes bestimmen[1]). Die beifolgende, aus SEDERHOLM entnommene Abbildung (Fig. 50) zeigt dies. Auch das kalevische und jatulische System zeigen eine, wenn auch nicht sehr große Differenz in der Richtung ihrer Faltenzüge.



Figur 48.

Vergegenwärtigen wir uns wieder die paläogeographische Bedeutung des obigen Profils. Wie in Nordwestschottland wird ein archäisches Festland, offenbar durch Meerestransgression, abgetragen und Konglomerate lagern sich ab, jedoch auch tonig-mergelige und kalkige Sedimente, so daß hier in Finnland das Meer entschiedener die Herrschaft auf dem alten spätarchäischen Festlandsboden antrat, als in Nordwestschottland zur Torridonzeit. Die zwischen Kalevium und Jatulium liegende Diskordanz deutet uns ungeheuere Zeiträume an. denn das Jatulium ruht auf abradierten kalevischen Falten. Diese Abrasion ging so weit, daß mancherorts das ganze Kalevium denudiert wurde und das jatulische System unmittelbar diskordant auf Archaikum liegt. Man könnte aber die Frage stellen, ob hier nicht ursprüngliche Transgression des Jatuliums auf Archaikum direkt vorliegt, d. h. also, ob nicht das jatulische Meer eine weitere Ausdehnung als das kalevische hatte? Als das jatulische System abgelagert war, setzte eine abermalige Trockenlegung und darauf eine neue Gebirgsfaltung ein, die örtlich sehr große Dimensionen annahm; stellenweise ist die Gebirgsbildung schwächer gewesen, und nordöstlich vom Ladogasee liegt eine von der Faltungsbewegung unbeeinflußt gebliebene Zone. Es folgt Abtragung, und eine abermalige Diskordanz trennt die jatulische Stufe von dem wenig gestörten jotnischen Sandsteinsystem. Die ganze algonkische Gruppe wird dann diskordant vom russischen Paläozoikum abgeschnitten.

Nach dem Typus des schottischen und finnischen ist auch das nordamerikanische Algonkium entwickelt. Auch dieses beginnt mit einer das Archaikum abschneidenden großen Diskordanz. Das amerikanische Originalschema für die präkambrische Zeit, auf das sich nach gemeinsamen Studien in der Lake Superior-Region an Ort und Stelle eine

1) SEDERHOLM, J. J., Explanatory Notes to a geological sketch-map of Fennoskandia. Helsingfors 1908, S. 15. (Mit Karte.)

von Canada und der Union ausgesandte Spezialkommission im Jahre 1904 einigte[1]), lautet folgendermaßen:



Figur 49.

Kambrium. Obere Sandsteine etc. vom Lake Superior.

Diskordanz.

Präkambrium:

Algonkium	**Keweenawan** (Nipigon). Sedimentärgesteine mit Intrusiv- und Extrusivmassen		
	Diskordanz		
	Huronium	Ober-Huron (Animikie) Diskordanz Mittel-Huron Diskordanz Unter-Huron	Sedimentärgesteine mit Intrusiv- und Extrusivmassen

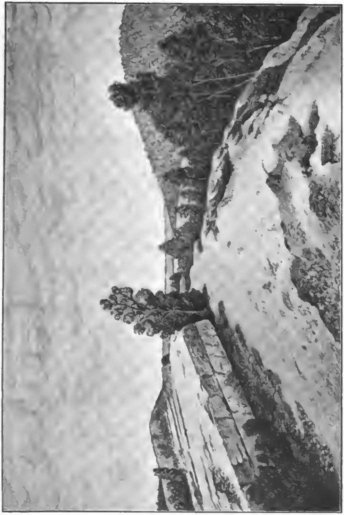
Diskordanz

Archaikum	**Keewatin** Eruptivkontakt **Laurentium**

1) Hayes, W., Bell, R., Adams, F. D., van Hise, Ch. R., Report of the Special Committee for the Lake Superior Region. Journ. of Geology, Vol. XIII. Chicago 1905, S. 89—104.

Digitized by Google

Nach Walcott[1]), welcher kein Mittel-, sondern nur ein Unter- und Oberhuron ausscheidet, besteht das Unterhuron am Lake Superior mit einer Mächtigkeit von 5000 Fuß aus halbkrystallinen, äußerst fein



Figur 50.

gefältelten Gesteinen: Kalke, Quarzite, Glimmerschiefer, Konglomerate von krystallinen Schiefern, zum Teil eisenführend, durchsetzt von Vulkan-

1) Walcott, Ch. D., Sur les formations précambriennes fossilifères. Compt. rend. VIII. Congr. géol. intern. 1900, Paris 1901, Fasc. I, 5te Partie, S. 299.
— Precambrian fossiliferous formations. Bull. geol. Soc. America, Vol. X, 1898, S. 199—244. (Mit Tafeln.)

Digitized by Google

gesteinen, welche Material für klastische metamorphosierte Sedimente geliefert haben. Das Oberhuron ist 10000 Fuß mächtig und besteht aus dunkeln tonigen Schiefern, wechsellagernd mit Kieselschiefern, an der Basis zum Teil mit Magneteisenvorkommen und zwischengelagerten Eruptiven. Das Keweenawan (Keweenavien) besteht aus einer bis 40000 Fuß mächtigen Serie klastischer Gesteine, die an den Abhängen gleichalteriger Eruptivmassen gebildet sind und mit Lavaergüssen wechsellagern. An der Basis der Serie dominieren die rein vulkanischen Gesteine, in der Mitte mehr die bezeichneten Wechsellagerungen und oben allein die klastischen Massen, so daß am Ende des Keweenawan der Vulkanismus erloschen war. Wichtig ist, daß nach Irving, welcher das Keweenawan in zwei Stufen zerlegt, im unteren Teile neben Porphyrkonglomeraten rote Sandsteine auftreten, die ja auch im nordeuropäischen Algonkium eine Rolle spielen, worauf unten zurückzukommen sein wird.

Im Algonkium des Grand Cañon in Arizona unterscheidet Walcott eine obere Chuar- und eine untere Unkar-Group und gliedert folgendermaßen:

Diskordanz gegen das Kambrium.

Chuar-Stufe	2. Braunroter Sandstein, nach unten in wechsellagernde Schiefer und Kalksteine übergehend. Fragliche Fossilspuren (Chuaria). 1. Tonig-sandige Schiefer mit feinen Kalkbändern, nach unten in verschiedenfarbige Sandsteine, sandig-tonige Schiefer mit dünnen Kalkbändern übergend.	5120 Fuß
Unkar-Stufe	4. Dolomitischer massiver Kalk nach unten in Sandstein übergehend. 3. Dunkelgrüne basaltische Lagen wechselnd mit dünnen Sandsteinlagen. 2. Höhere Sandsteinserie. Roter, unten dunkelbrauner Sandstein. 1. Untere Sandsteinserie. Graubrauner bis rötlicher Sandstein, untere dünne Lagen von Kalk und Sandstein wechsellagernd.	6830 Fuß

Diskordanz gegen das Archaikum.

Es hat keinen Zweck, die einzelnen amerikanischen Vorkommen genauer anzuführen; es sei nur noch erwähnt, daß der ausgedehnteste algonkische Bezirk jener der Beltformation in Nordmontana, Idaho und dem südlichen Britisch-Kolumbien ist, eine durchaus einheitliche Serie von 12000 Fuß Mächtigkeit, die vor allem aus Schiefern, Kieselschiefern, sandigen Schiefern bestehen; im oberen und unteren Teile ist Kalk eingeschaltet und zu unterst ein geringmächtiger Quarzit und Sandstein. Durchweg ist das Algonkium in Amerika sowohl gegen das Archaikum, wie gegen das Kambrium diskordant abgeschnitten. Nach van Hise[1]) ist die Diskordanz zwischen Archaikum und Algonkium in Nordamerika allgemein und nur an wenigen Punkten unsicher, aber auch da wahrscheinlich. Spätere Deformationen haben gelegentlich die Diskordanz verwischt. So hat in Colorado und Wyoming verschiedentlich spätere Faltung eine Parallelschieferung sowohl der algonkischen, wie

1) van Hise, Ch. R. and Leith, Ch. K., Precambrian Geology of North America. Bull. U. S. geol. Survey, No. 360. Washington 1909. Das Werk ist eine erweiterte Neuauflage eines älteren vielzitierten: van Hise, Ch. K., Archean and Algonkian. Ibid. 1892, No. 86.

Digitized by Google

der archäischen Sedimente erzeugt und dadurch die Gliederung bzw. Abtrennung beider Systeme erschwert; in Neu-Braunschweig und am Cap Breton ist die Diskordanz noch unentschieden, desgleichen an verschiedenen Punkten des Westens. Abgesehen von den genannten Regionen am Lake Superior, in Arizona und in Montana (Beltformation) ist die Diskordanz in der Lake Huron-Gegend, wie überhaupt in Canada, in Neufundland, in den Südappalachen und in den Wasatch-Mountains nachgewiesen. In den Südappalachen liegt die Diskordanz zwischen zwei verschieden stark metamorphosierten Vulkangesteinen.

Eine mit den amerikanischen Verhältnissen ziemlich idente Ausbildung, so daß man die einzelnen Systeme geradezu parallelisieren kann, scheint auch das Algonkium Chinas zu zeigen, und es ist als ein besonders glücklicher Umstand zu bezeichnen, daß es gerade durch eine amerikanische Forscherexpedition, neuerdings untersucht worden ist. Wir verdanken v. Richthofen[1]) die erste Mitteilung über das Vorkommen der präkambrischen Formationen, aber es lag in der Natur der Sache, daß damals von einer genaueren Gliederung der archäischen und algonkischen Schichten keine Rede sein konnte. Auch die Expedition des Grafen Szechényi hat keine entscheidenden Ergebnisse gebracht. Erst Lorenz erkannte die Diskordanz zwischen Archaikum und Algonkium[2]) und Willis[3]) teilt in Nordchina ein:

Houto-System (Keweenawan)	Kalk von Tungyi Tonschiefer von Tutsun	Tonschiefer, Kalke, Quarzite
	Diskordanz	
Woutai-System (Huronium)	Sitai-Serie	Chloritschiefer; an der Basis Quarzitkonglomerate
	Diskordanz	
	Nantai-Serie	Kieseliger Marmorkalk, Jaspis, Quarzite, Schiefer
	Diskordanz	
	Shitsui-Serie	Glimmerschiefer, Gneis, Quarzite mit Magneteisen, an der Basis Feldspatquarzit
	Diskordanz gegen das Archaikum	
Basalkomplex von Taichan.	**Archaikum.**	Gneisse und jüngere Intrusiva.

In Westfrankreich, in der Bretagne, teilt Barrois ein[4]) in:

	Kambrium diskordant zum Liegenden	
Algonkium (gefaltet)	Grünsteine von Néant Schiefer und Konglomerate von Gourin Schiefer von Lamballe mit Phtanit	**Briovérien** (Schiefer von St.-Lô)
	Schiefer mit Mineralien von Groix Glimmerschiefer von Audierne Gneis von Quimperlé	**Archaikum**

1) Richthofen, F. v., China, Bd. II, Berlin 1882, S. 105ff., 220ff., 370ff., 706ff.

2) Lorenz, Th., Beiträge zur Geologie u. Paläontologie von Ostasien unter besonderer Berücksichtigung der Provinz Schantung in China. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., Bd. LVII, Berlin 1905, S. 438—497.

3) Willis, B., Blackwelder, E. and Sargent, R. H., Research in China. I. Descriptive Topography and Geology. (Mit Atlas u. Tafeln.) II. Systematik Geology (Mit Tafeln.) Carnegie Institut. Washington 1907. (teste Frauo.)

4) Barrois, Ch., Guide VII (Bretagne) d. Compt. rend. X. Congr. géol. intern. Paris 1900.

Zwar liegt das Kambrium diskordant zu dem gefalteten Algonkium und beginnt mit einem Konglomerat, aber zwischen dem Archaikum und Algonkium scheint Konkordanz zu herrschen. Zum Teil scheinen es nicht Alters-, sondern Faziesverschiedenheiten zu sein, die zwischen den Glimmerschiefern und Mineralschiefern herrschen, die nach oben unter Verlust der ausgesprochenen Mineralführung allmählich in reine Tonschiefer übergeben und nun das Briovérien bilden. Im Prinzip dieselben Verhältnisse in Südfrankreich, Alpen, Böhmen, Sachsen.

Es wird sich kaum ein begründeter Widerspruch dagegen erheben können, wenn man jene so übereinstimmenden Ausbildungen des Algonkiums in Nordamerika, Finnland, China im großen und ganzen miteinander parallelisiert und diesen Ausbildungstypus mit seinen regelmäßig wiederkehrenden Diskordanzen dem anderen gegenüberstellt, der beispielsweise in Westfrankreich, Deutschland, Böhmen usw. entwickelt ist und in dem eine Etageneinteilung nach durchgehenden Diskordanzen, selbst gegen das Archaikum hin nicht möglich ist.

Wenn wir annehmen, daß dort, wo das Algonkium mit einer Diskordanz über dem Archaikum beginnt, zu Anfang der algonkischen Epoche ein in Abtragung begriffenes Land war, daß also die über der Abrasionsfläche folgenden algonkischen Sedimente nicht die ältesten sind, sondern daß die ältesten Ablagerungen algonkischer Zeit nur dort entwickelt sind, wo ein unmerklicher Übergang Archäikum und Algonkium verbindet, dann wäre zu unteralgonkischer Zeit Meer in Westskandinavien, Irland, Schottland (mit Ausnahme des Nordwestens) Frankreich, Deutschland, Böhmen und den Alpen bzw. dem Mediterrangebiet und dem westlichsten Nordamerika gewesen; Land dagegen im übrigen Nordamerika, Nordwestschottland, Fennoskandia außer dem Westen, China. Das ist aber auch alles, was wir mit einigem Recht sagen können. Die Transgression des kambrischen Meeres über den kanadischen und fennoskandischen Schild, das gleiche wahrscheinlich im sibirischen Schilde und vielleicht in China, zeigt uns, wo spätalgonkische Landkomplexe lagen.

Walcott hat schon vor 20 Jahren den Versuch gemacht, das präkambrische Land für Nordamerika zu rekonstruieren[1]). Er hat dafür drei Methoden, auf die er die Rekonstruktion von Land und Meer gründet. Land bestand dort, wo kambrische bzw. altkambrische Absätze auf präkambrischen Serien fehlen, ferner dort, wo unterkambrische Strandlinien nachweisbar sind; spätalgonkisches Meer dort, wo kambrische Tiefwasserablagerungen auftreten. Bedienen wir uns dieser Methoden, so bekommen wir in rohen Umrissen oberalgonkische Landkomplexe im Herzen und Norden Nordamerikas, in Fennoskandia mit Ausnahme des Westens, also der nordsüdlichen Längshälfte Norwegens, in Nordschottland, Wales, Westfrankreich, Sachsen, Böhmen; denn hier liegt überall das höhere oder tiefere Kambrium diskordant, zum Algonkium.

Oberalgonkisches Meer dagegen dürfte bestanden haben im westlichen, südlichen und in einem schmalen östlichen Küstenstreifen Nordamerikas; in Irland, Süd- und Westschottland, im westlichen und nördlichen Norwegen, denn hier liegt das Kambrium konkordant zum

1) Walcott, Ch. D., The North American Continent during the Cambrian Time. 12. Ann. Rep. U. S. geol. Survey, Washington 1891, S. 540ff. (Mit Kartenskizzen.)

Digitized by Google

Algonkium; vielleicht auch im zentralen China und in Sibirien. Merkwürdig ist die jüngst von Walcott vorgetragene[1]) Auffassung der algonkischen Sedimente Nordamerikas als Süßwasserablagerungen in Seen, die vom Meere abgeschnitten gewesen wären. Denn die aus dem Algonkium bekannten Fossilien hätten den Charakter von Süßwasserformen.

Gebirgsbildung zeigt das Algonkium reichlich, worauf teilweise schon hingewiesen wurde. In Nordamerika, Finnland, Nordchina und einzelnen Teilen Europas ist jede der großen Sedimentationsepochen gefolgt von Hebungen und Faltungen, deren Abtragung den Diskordanzen entspricht. Sie beweisen uns die Aufeinanderfolge von großen geologischen Zyklen.

Dauer des Algonkiums[2]). „Nach der Annahme der nordamerikanischen Geologen wäre die Länge der algonkischen Zeit schon an und für sich größer als die zusammengelegten Längen der postkambrischen Zeitalter ... Wir finden in Nordeuropa in demjenigen älteren granitdurchwobenen Grundgebirge, welches, gleich wie der prähuronische Basalkomplex Nordamerikas, unterhalb der tiefsten Diskordanz liegt, die man noch über weite Strecken verfolgen kann, Sedimentformationen, deren Mächtigkeit wahrscheinlich diejenige der jüngsten präkambrisehen Formation bei weitem übertrifft. Während die Mächtigkeit der jotnischen Sedimente in Dalekarlien, wo sie am besten entwickelt sind, nach Törnebohm etwa 1100 m beträgt und die jatulischen Bildungen 1500—2000 m messen, schätzten wir die Minimalmächtigkeit der bottnischen Formationen der Gegend von Tammerfors auf 2000 m und die ladogischen Sedimente Ostfinnlands auf 4000 bis 5000 m. Die lückenhafte Beschaffenheit der ältesten Formationen macht es aber wahrscheinlich, daß ihre wirkliche Mächtigkeit noch viel größer ist, als diese Zahlen angeben. Es ist natürlich unmöglich, uns eine einigermaßen exakte Vorstellung darüber zu bilden, wie groß diese Lücken sind. Wenn wir uns aber erinnern, daß die gewaltigen Gebirge, welche während verschiedener Perioden der präkambrischen Zeit hier entstanden, vor der Ablagerung der jotnischen Sedimente fast vollständig abgehobelt wurden, so sehen wir ein, daß die hier erhaltenen Sedimente jüngeren präkambrischen Alters nur einen unbedeutenden Teil dieser Erosionsprodukte ausmachen können. Von den älteren, archäischen Sedimenten muß aber noch viel weniger erhalten sein und ihre beobachtete Mächtigkeit muß also mit einem noch größeren Faktor multipliziert werden, um die wahre ursprüngliche Mächtigkeit zu ergeben. Erinnern wir uns weiter, daß auch in diesen längst verflossenen Ären Perioden von Gebirgsfaltung und Granitintrusion mit Perioden von ruhiger Sedimentation und vulkanischer Tätigkeit abwechselten, dann bekommen wir erst recht eine Vorstellung davon, wie diese Lagerreihen trotz, oder vielleicht besser gesagt: mit ihren imponierenden Lücken eine Zeitlänge angeben müssen, gegenüber welcher die der postkambrischen Zeit fast zu einem Bruchteil zusammenschmilzt."

1) Walcott, Ch. D., Abrupt appearance of the cambrian fauna on the North American continent (Cambrian geology and paleontology II). Smithson. Misc. Coll., Vol. LVII, No. 1, Washington 1910, S. 1—16.

2) Sederholm, J. J., Über eine archäische Sedimentformation im südwestlichen Finnland und ihre Bedeutung für die Erklärung der Entstehungsweise des Grundgebirges. Bull. Commiss. géol. Finlande, No. 6, Helsingfors 1899, S. 247—249.

Digitized by Google

VI. Die geologische Zeitmessung.

Wir wollen hier absehen von Versuchen, wie sie besonders von Physikern zuweilen angestellt wurden, um das Alter der ganzen Erde als solcher zu berechnen und die meist auf Spekulationen über die Dauer der Abkühlung aus dem Glutflüssigkeitszustande oder über die verflossene Zeit seit der so außerordentlich hypothetischen Bildung der ersten Kruste beruhen. Derartige Berechnungen[1]) sagen dem Paläogeographen nichts, denn für ihn handelt es sich nicht um das Alter der Erde schlechthin, sondern um ein Mittel, die Zeitdauer der einzelnen historisch-geologischen Erdperioden und Stufen zu erkennen. Er wird daher, will er nicht den festen Boden unter den Füßen verlieren, immer irgendwie die in der Erdkruste aufgeschichteten Massen, deren Mächtigkeit und Art des Auftretens, oder die aufeinanderfolgenden Zyklen als Hauptfaktor in seine Berechnungen, mögen sie aussehen, wie sie wollen, einsetzen müssen.

Wir können in die Geologie theoretisch zweierlei Art von Zeitbegriff einführen: einen absoluten und einen relativen. Für beide brauchen wir ein Zeitmaß, eine Zeiteinheit; für den absoluten ein ziffernmäßiges, für den relativen ein stratigraphisch-faunistisches. Das ziffernmäßige gewinnen wir, allgemein gesprochen, aus der Berechnung der Dauer gewisser sich stets wiederholender geologischer Vorgänge; das stratigraphisch-biologische aus der Aufeinanderfolge der Faunen in den Gesteinsschichten. Regelmäßig sich wiederholende Erscheinungen sind aber, wie wir gesehen haben, die Sedimentationszyklen und die großen Diskordanzen.

Es sind verschiedene Möglichkeiten vorhanden, die Wiederkehr bestimmter geologischer Erscheinungen nach ihrer Zeitdauer abzuschätzen. Der eine Weg besteht theoretisch darin, die Regelmäßigkeit der betreffenden Vorgänge mit astronomischen Periodizitäten in Verbindung zu bringen und aus deren zeitlichem Eintreten bzw. Ablauf unmittelbar den Zeitraum zu erkennen, in dem sich jene geologischen Vorgänge abgespielt haben. Der andere Weg ist der, in der Jetztwelt zu beobachten, wie lange bestimmte, auch früher vorhandene geologische Vorgänge zu ihrer Vollendung brauchen, und daraufhin unter entsprechender Abgleichung der Bedingungen die Dauer der früheren zu berechnen.

1) Man findet sie zum Teil zusammengestellt u. a. bei Koenigsberger, J., Berechnungen des Erdalters auf physikalischer Grundlage. Geol. Rundschau, Bd. I, Leipzig 1910, S. 241—245. Ferner in der neueren Arbeit von Walcott und in Joly, J., The age of the earth. Smithson. Rep. for 1911. Washington 1912, S. 271—293.

1. Das absolute Zeitmaß.

a) Versuche, ein astronomisch begründetes Zeitmaß zu gewinnen.

Die Erdachse steht zur Erdbahn in einer Neigung von 66° 23′ 28″, und da die Erdachsenstellung im ganzen Jahr praktisch sich selbst parallel bleibt, kommen auf beiden Erdhemisphären die wechselnden Jahreszeiten zustande. Die Erdbahn ist aber kein Kreis, sondern, wie alle Planetenbahnen, eine Ellipse, deren einer Brennpunkt die Sonne ist; daher befindet sich die Erde einmal im Jahr in größter Sonnennähe (Perihel), einmal in größter Sonnenferne (Aphel). Denkt man sich Erd- und Sonnenmittelpunkt durch eine Gerade verbunden, so muß diese in gleichen Zeiten gleiche Flächen bestreichen, oder mit anderen Worten: im Perihel muß die Erde schneller in ihrer Bahn laufen als im Aphel. Wenn wir auf unserer Halbkugel Winter haben, sind wir in Sonnennähe; wenn wir Sommer haben, in Sonnenferne. Unsere Winter sind darum nicht nur theoretisch milder, sondern auch in Wirklichkeit um etwa 8 Tage kürzer, als die der Südhemisphäre und umgekehrt. Weil jedoch die Erde keine vollkommene Kugel, sondern ein Rotationsellipsoid ist, so wird sie von Sonne und Mond ungleichmäßig angezogen und die Folge davon ist ein Zirkulieren der Pole. Die Anziehung der Sonne ist gering und kann für unsere Zwecke vernachlässigt werden. Die des Mondes bewirkt jedoch, daß die Stellung der Erdachse nicht stets sich selbst parallel bleibt, sondern durchschnittlich in 26000 Jahren einen Doppelkegel beschreibt; infolgedessen würde nach 13000 Jahren für die beiden Hemisphären die umgekehrte Situation eintreten; die Nordhalbkugel hat ihren Winter im Aphel, und dann wird der Winter bei uns um 8 Tage länger sein. Man nennt diesen Mechanismus „Präzession der Äquinoktien". Die ganze Summe, um welche die Winterzeit innerhalb eines halben Präzessionszyklus für eine Hemisphäre länger wird, als die Sommerszeit (bzw. umgekehrt), beträgt etwa 200 Jahre.

Auch der Betrag[1]) der Exzentrizität der Erdbahn ist nicht konstant, sondern schwankt unregelmäßig hin und her, nach der theoretischen Berechnung mit Perioden von 80000—100000 Jahren zwischen einem Minimum von 0,004 und einem Maximum von 0,047; zur Zeit beträgt die Exzentrizität 0,016 und befindet sich in Abnahme. Das letzte Exzentrizitätsmaximum von 0,019 liegt 13000 Jahre zurück. Beträgt die Differenz der Entfernung der Erde von der Sonne zwischen der Perihel- und Aphelstellung heute 2380000 km, so steigert sich diese Differenz zur Zeit des äußersten Exzentrizitätsmaximums von 0,047 auf 7000000 km, wobei zu beachten ist, daß die längere Achse der Erdbahn sich nicht verändert.

Wie diese Verhältnisse zu einer Erklärung der Eiszeiten von Croll, Adhémar, u. a. benützt worden sind, gehört in das Gebiet der Paläoklimatologie und wird hier nur soweit erwähnt, als sie in Zusammenhang mit der geologischen Zeitrechnung gebracht wurden. Infolge der Präzession der Äquinoktien sollen sich nämlich in der Polarzone jener Hemisphäre, deren Winter ins Aphel fällt, Eisanhäufungen bilden, welche die Perihelsommer nicht ganz zum Schmelzen bringen

1) Nach freundlichen Angaben von Herrn Dr. A. Kühl.

können, wodurch sich das Eis von Jahr zu Jahr aufhäuft. Durch die allmähliche Ausdehnung und wachsende Dicke der Eiskalotte soll der Schwerpunkt der Erde verlegt und eine Ansammlung der Wassermassen auf der das Eis tragenden Halbkugel bewirkt werden. Nicht nur soll die Konfiguration der Länder auf der Südhalbkugel die versinkender bzw. überfluteter Kontinente sein, während die Nordländer mit ihren Binnenmeeren und Seen und den zum Teil flach verlaufenden Küsten den Eindruck eben von den marinen Wassermassen verlassener Regionen machen, sondern auch die Sintflutsagen seien ein Beweis für solche Vorgänge in letzter Zeit. Die hier gemachten Voraussetzungen sind aber anfechtbar, weil weder die Präzession der Äquinoktialpunkte eine solch extreme Wirkung auf das Klima praktisch ausübt, noch das Vorhandensein einer Eiskalotte so sehr den Schwerpunkt zu verschieben vermag[1]).

Auf dieser Basis baute Mayer-Eymar[2]) folgende Lehre auf: Ein vordringendes Meer schafft grobe Transgressionssedimente, und wenn die Transgression vollendet ist, lagern sich feinere Sedimente ab. Tritt Perihelwechsel ein, so spielt sich der umgekehrte Vorgang ab, das Meer geht zurück und über den feineren pelagischen häufen sich wieder gröbere Strand- und Küstenbildungen an. Gleichzeitig vollendet sich auf der entgegengesetzten Hemisphäre der komplementäre Zyklus. Es entsprechen sich demnach Seichtwasser- und Tiefenstufen auf den beiden Hemisphären, und das nennt Mayer-Eymar das „Gesetz der chronologischen Äquivalenz der Stufen und Unterstufen". Er will tatsächlich beobachtet haben, daß sich die Tertiärvorkommen, in denen er Spezialist war, diesem Gesetze fügen, und in allen seinen stratigraphischen Einteilungen kommt diese Auffassung zur Geltung.

So zerfallen nach ihm die Ablagerungen des englisch-französischen Kreide-Tertiärbeckens in sieben überall gleichartig entwickelte Hauptstufen mit 14 Unterstufen; von letzteren läßt jeweils die obere ein weniger tiefes Meer erkennen, als die damit alternierenden unteren. Er berechnet durch einfache Abzählung der darin im oben dargelegten Sinn sich spiegelnden Präzessionszyklen die Zeitdauer des Tertiär auf 325000 Jahre, die der Kreide auf 230000 Jahre und gewinnt so eine exakte Chronologie der Erdzeitalter und ihrer Unterstufen. Nebenbei sei bemerkt, daß er auch eine eigene stratigraphische Nomenklatur zur unmittelbaren Unterscheidung der auf- und absteigenden Hälften der Sedimentationszyklen einführt; er läßt die Bezeichnung des ganzen Zyklus auf „an" endigen (Bartonian), die untere Unterstufe auf „on" (Montmartron), die obere auf „in" (Grignonin), so daß man daraus ohne weiteres die zeitliche Stellung der betreffenden Stufe ablesen kann. Natürlich kennt er sehr wohl die Ausnahmen, die in der Natur sein Schema auf Schritt und Tritt erleidet und die er in verschiedener Weise zu erklären versucht. Hierzu dient ihm die periodische Änderung der Exzentrizität, die natürlich besondere Modifikationen mit sich bringt, während lokale tektonische Vorgänge, wie der

1) Günther, S., Handbuch der Geophysik, 2. Aufl., Bd. II, Stuttgart 1899, S. 334ff.

2) In allen möglichen Schriften von ihm dargelegt, auch in autographierten Tabellen. Vgl. Kokens Referat im N. Jahrb. f. Mineral. etc. 1886, 1, S. 311, und besonders: Mayer-Eymar, C., Systematisches Verzeichnis der Kreide- und Tertiärversteinerungen der Umgegend von Thun etc. Beitr. z. geol. Karte der Schweiz. Bern 1887, S. VII—XI.

Niederbruch im Mittelmeer zur Tertiärzeit, oder Stürme und Meeresströmungen lokale Änderungen in der Sedimentbildung veranlassen, Änderungen, die er gegenüber der im übrigen herrschenden Gesetzmäßigkeit „zufällige" nennt.

Man braucht — abgesehen von den schon als solche bezeichneten falschen meteorologisch-glazialen und astrophysikalischen Voraussetzungen — um die Unhaltbarkeit der MAYER-EYMAR'schen Auffassung darzutun, nur darauf hinzuweisen, daß früher und auch heute Strandverschiebungen beiderlei Art gleichzeitig auf der Nord- und Südhemisphäre in Gang waren und sind und daß selbst bei vorausgesetzter Gültigkeit der ADHÉMAR-CROLL'schen Gedankengänge und der Verlegung der Wassermenge nach einem Pol, dennoch stets innerhalb jeder Hemisphäre zu gleicher Zeit Küstenregionen, Flachseen und tiefere Becken nebeneinander existieren und demgemäß sich auch gleichzeitig auf jeder Hemisphäre die verschiedenartigsten Sedimente ablagern; ganz abgesehen davon, daß auch die Vertikalkonfiguration der Festländer und die je nach den klimatisch-meteorologischen Verhältnissen anders gearteten Verwitterungs- und Denudationsvorgänge ein ganz entscheidendes Wort in der Sedimentbildung mitreden. Wir werden aber sehen, daß sich in gewisser Form der Gedankengang hält und rechtfertigen läßt.

Denn war die MAYER-EYMAR'sche Theorie auch noch recht primitiv und einseitig, so enthielt sie doch einen noch nicht in seinem ganzen Umfang von ihm erkannten Tatsachenkern, den wir heute unter dem Begriff der zyklischen Entwicklung fassen. Sie verwertet in weitestgehendem Maße BLYTT[1]) in seiner Zeitbestimmungstheorie, welche zugleich die von MAYER-EYMAR gänzlich übersehene Bedeutung der Rotationsverminderung der Erde und die Bedeutung der astronomischen Periodizitäten für die Bewegungen der festen Erdkruste als Faktor in die Berechnungen miteinstellt und schließlich auch bei dem Unterschiede und dem Wechsel in den Sedimentablagerungen den hierbei mitsprechenden komplizierten Verhältnissen Rechnung trägt.

Mit der Präzession der Äquinoktien ändert sich, nach BLYTT, auch die Dauer des Winters bzw. Sommers, und mit der Zunahme der Erdbahnexzentrizität steigt auch der jährliche Unterschied auf mehr als 20 Tage, somit in jeder halben Präzessionsperiode um etwa 600 Jahre. Je größer die Exzentrizität der Erdbahn, umso ausgesprochener auch die durch die Präzession bedingte klimatische Periode, die sich ausgleicht, wenn die Exzentrizität auf ihr Minimum zurückgeht. Aber auch die Länge der Präzessionsperiode variiert eben wegen des Wechsels in der Exzentrizität; nach CROLL in der Postglazialzeit sogar um 6400 Jahre. Eine solche Variation muß insofern das Klima beeinflussen, als ja die Meeresströme sich verstärken müssen, je länger eine Aphelwinterperiode dauert, weil dadurch die Luftdruckverhältnisse über dem Lande und dem Ozean gegensätzlicher werden. Mit der Änderung in der Intensität des Meeresstromes ändert sich entsprechend auch das Klima. Solche Klimaperioden sind in Norwegen in der Postglazialzeit und auch anderwärts nachgewiesen — es sei

1) BLYTT, A., Kurze Übersicht meiner Hypothese von der geologischen Zeitrechnung. Geol. Föreningens i Stockholm Förhandl. Bd. XII, 1890, S. 36—57. Dortselbst auch Verzeichnis der Literatur, in der BLYTT seine Theorie im einzelnen ausgeführt und entwickelt hat.

Digitized by Google

nur an das nördlichere Vorkommen des Haselstrauches erinnert; in der Postglazialzeit gab es somit schon mildere Klimata als heute.

Wenn also Aphelwinter einsetzen, verschärft sich der Gegensatz zwischen Küstenklima und Kontinentalklima. Die Regenmenge, damit das Anschwellen der Flüsse und damit ihre Transportkraft schwankt während dieser klimatischen Änderungen. Steigern sich diese Eigenschaften, so werden sich klastisch-mechanische Sedimente an Orten ablagern, wo in entgegengesetzten Verhältnissen nur chemische oder vom Lande unbeeinflußte Sedimentbildung vor sich ging. Demgemäß, so argumentiert Blytt, können wir aus der Wechsellagerung wenigstens für die jüngeren Formationen ein Mittel gewinnen, die Länge der geologischen Zeiträume zu messen.

Wir haben im Kapitel V schon den Versuch Blytts kennen gelernt, die diastrophischen Bewegungen der Erdrinde durch Spannungsverhältnisse zu erklären, die durch veränderte astronomische Konstellationen erzeugt werden, und man kann weiter fragen, welches der astronomische Augenblick sei, in dem die spannungsauslösenden Hauptbewegungen wohl eintreten? Nach Blytt ist es vermutlich jener der größten Exzentrizität der Erdbahn. Die Sonne ist dann in der Perihelstellung um 1 Million Meilen näher. Es wächst darum auch die Beeinflussung der Erdrinde durch die Anziehung der Sonne, vor allem werden aber die Springfluten bedeutender. Die innere Spannung der Erdrinde wächst schneller, weil durch die stärkere Flutwelle die Achsendrehung bedeutender als sonst gemindert wird. Da somit zugleich auch die auslösenden Ursachen verstärkt werden, so ist es wahrscheinlich, daß die feste Kruste besonders dann am leichtesten und ausgiebigsten ihre Form ändern wird, wenn die Exzentrizität der Erdbahn ihr Maximum erreicht.

Es wäre allerdings hier gegen Blytt der Einwand zu erheben, daß die Auslösung der aufgehäuften Spannungen durchaus nicht im Augenblick größter Exzentrizität einzutreten braucht sondern daß jeder kleinste Anlaß — man denke an den niederen Barometerstand bei Erdbebenauslösungen, die Blytt ohnehin auf dieselbe Ursache zurückführt — zum Aktivwerden der latent gebliebenen Spannungen führen kann. Wenn dies der Fall ist, müßte auch zugegeben werden, daß die in größeren Strandverschiebungen begründeten Trans- bzw. Regressionserscheinungen über größere Strecken hin keineswegs zeitlich mit Maximis bzw. Minimis der Exzentrizität zusammenzufallen brauchen. Die Wahrscheinlichkeit allerdings, daß dies geschieht, ist natürlich sehr groß, besonders wenn man folgendes Moment berücksichtigt: Wenn die Exzentrizität maximal wird, ist nicht nur im Perihel die Annäherung mit allen ihren Kraftwirkungen größer, sondern im Aphel auch die Entfernung von der Sonne. Die Folge ist eine größere Gegensätzlichkeit der Sonneneinwirkung innerhalb eines Jahres, und gerade dieses bald relativ sehr starke, bald sehr viel schwächere Einwirken auf die Erdkruste durch die Sonnenanziehung kann viel eher zu einer Lockerung der Spannungswiderstände in der Kruste führen, als die relative Gleichmäßigkeit der Einwirkung bei minimaler Exzentrizität. Die Wahrscheinlichkeit also, daß Exzentrizitätsmaxima mit großen Strandverschiebungen korrespondieren, ist, wenn der von Blytt konstruierte Zusammenhang überhaupt besteht, immerhin sehr groß. Wenn die Präzession der Äquinoktien eine klimatische Periode bedingt, die sich in der Wechsellagerung der Sedimente

spiegelt, wenn ferner die Formveränderungen der festen Kruste besonders bei wachsender Exzentrizität vor sich gehen, so werden wir dadurch imstande sein, die von großen Diskordanzen unterbrochenen zyklischen Schichtenreihen mit den astronomischen Perioden zu verknüpfen. Zu diesem Zweck exemplifiziert er auf die Tertiärformation, sucht die ungefähre Zahl der Wechsellagerungen in jeder Periode zu bestimmen und liest aus den Sedimenten drei Hauptzyklen und eine entsprechende Anzahl kleinerer Oszillationen heraus.

Die Kreide-Eocängrenze ist durch einen Rückzug des Meeres in höheren Breiten gekennzeichnet. In der Eocänzeit stieg dort das Meer wieder und erlangte eine große Verbreitung. Die Eocän-Oligocängrenze bedeutet abermals einen Rückzug; im Oligocän und noch mehr im Miocän steht es wieder hoch, zwischen Miocän und Pliocän ist der Spiegel wieder zurückgegangen und am Anfang des Quartär steigt das Meer aufs neue. Ähnliche große Oszillationen finden sich auch in Nordamerika und auf der Südhemisphäre in Patagonien. Außerdem scheine die Quartärzeit vier kleinere Oszillationen der Strandlinie zu enthalten. Es entspricht somit das Eocän einem ersten großen Zyklus, Oligocän, Miocän, Pliocän, die zusammen so lang wie das Eocän sind, einem zweiten, und das Quartär dem Anfange eines noch nicht vollendeten dritten.

Gehen wir von den frühesten Pariser Schichten rückwärts bis zur oberen Schwelle der Kreidezeit, dann läßt sich nach Blytt auch der erste Zyklus der letzten großen Exzentrizitätsperiode mit speziellen Sedimentationszyklen ausgefüllt nachweisen. Die Grenze von Kreide und Tertiär falle mit der Grenze zweier Exzentrizitätsperioden zusammen, also mit jener astronomischen Situation, in welcher der mittlere Wert der Exzentrizität gering ist. Danach sei mit einiger Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß bei der anscheinend großen Übereinstimmung zwischen Zyklusreihen der Sedimente und den Exzentrizitätskurven der Zufall nicht mehr entscheidend mitspreche. Dies anerkannt, ergebe sich als Dauer der Tertiärzeit 3000000 Jahre. Auf das Eocän entfalle etwa 1½ Millionen Jahre, auf Oligocän, Miocän und Pliocän zusammen ebensoviel. Die Kreide-Tertiärgrenze liege 3250000 zurück, das Ende der Tertiärzeit, also der Beginn des Quartär, 350000 Jahre.

Man muß gestehen, daß dies Zahlen sind, die nicht gerade unwahrscheinlich sind und Schätzungen entsprechen, die man auch aus anderweitigen allgemeinen Gründen mehr approximativ gemacht hat, wie die beifolgende Vergleichstabelle zeigt, die unter teilweiser Ergänzung aus Osborns „Age of Mammals" entnommen ist und in der das von verschiedenen Autoren auf Grund von Berechnungen nach den jetzigen Sedimentations- und Denudationsverhältnissen ermittelte Alter des Känozoikums verzeichnet ist:

Dana (1874)	3 000 000 Jahre	Berechnet aus der abgeschätzten Mächtigkeit der ganzen geschichteten känozoischen Serie und der Akkumulationsrate längs den Küsten der Jetztzeit.
Wallace (1881)	4 200 000 Jahre (Tertiär = 4 000 000 Quartär = 200 000)	Berechnet aus der Denudationsrate und der schätzungsweisen Mächtigkeit der känozoischen Formation; ferner auf die Daten hoher Exzentrizität der Erdbahn.
Blytt (1890)	3 000 000 Jahre	Berechnet aus der Anzahl der Sedimentationszyklen bezogen auf Schwankungen der Erdbahnexzentrizität.

Walcott	(1893)	2 900 000 Jahre	Berechnet aus der Totalmächtigkeit der nordamerikanischen känozoischen Ablagerungen im Vergleich zu der jetztweltlichen Sedimentanhäufung.
Upham	(1893)	3 100 000 Jahre (Mittelwert) (Tertiär = 2—4 000 000 Quartär = 100 000)	Berechnet aus der Abschätzung der Dauer der Glazialphasen.
Sollas	(1900)	4 200 000 Jahre (Tertiär = 3 800 000 Qnartär = 400 000)	Berechnet aus dem geschätzten Betrag der Sedimentakknmulation zn 1 Fnß in 100 Jahren. Die Sedimentmächtigkeit von Eocän his zur Jetztzeit zn 42000 Fuß angenommen.
	(1909)	6 380 000 Jahre	Hier nnter Annahme einer Mächtigkeit von 63 800 Fnß.
Penck	(1908)	Qnartär = 500 000 1 000 000 Jahre	Berechnet aus der dnrchschnittlichen Denndation der jetzigen Landoberfläche ($^1/_{3600}$ Fnß pro Jahr).

h) Versuche, aus tellurischen Vorgängen ein ahsolutes Zeitmaß zu gewinnen.

Besonders wichtig sind in neuerer Zeit die Berechnungen ahsoluter Zeitlängen aus der Radiumemanation der Gesteine geworden. Sie heruhen[1]) auf der Tatsache der Umwandlung von Radium in Helium. Stellt man in einem bestimmten Mineral die Heliummenge fest, die im Laufe eines Jahres gehildet wird, dann kann man durch einfache Multiplikation des Heliumgehaltes mit der jährlichen Produktion das Alter des hetreffenden Minerals theoretisch errechnen. Praktisch ändert sich die Sache insofern, als nicht alles produzierte Helium in dem Mineralkörper aufgespeichert hleiht, so daß man durch obige Rechnung nur eine Minimalzahl erhält. Strutt hat so für einen Sphärosiderit aus dem Oligocän 8400000 Jahre, für einen Hämatit aus dem Eocän 31000000 Jahre herechnet, Königsberger für ein miocänes Ergußgestein aus der Auvergne 6000000 Jahre, für archäische Minerallagerstätten in Ontario (Kanada) 600000000 Jahre[2]).

Außer dem Versuche, astronomische Perioden mit geologischen Zyklen in Verhindung zu hringen und daraus eine Zeiteinteilung abzuleiten, gibt es, wie schon S. 268 angedeutet wurde, mehrere Methoden, die auf einer Berechnung der Erosions- und Sedimentationsdauer und auf einer relativen Zeitahschätzung aus der Mächtigkeit der Sedimente heruhen. Nur einige wichtigere, teils praktisch wertvolle, teils durch die Originalität der Erfindung interessante Beispiele dieser Art sollen im Folgenden gebracht werden[3]).

1) Levin, M., Artikel „Radioaktivität" in: Handwörterhuch der Naturwissenschaften, Bd. VIII, Jena 1913, S. 73/74.

2) Königsberger, J., Berechnungen des Erdalters auf physikalischer Grundlage. Geol. Rnndschan, Bd. I, Leipzig 1910, S. 241—249.

3) Cuvier scheint der erste Autor zu sein, der Berechnungen über die Zeitdauer einer geologischen Periode angestellt hat. Wie die Anschwemmungen des Nil, Rhein, Po, Arno, das Fortschreiten der Dünen, das Wachsen der Torfmoore zeigte, könne die letzte Erdrevolntion, die der Mensch schon miterlehte, nnr 5—6000 Jahre znrückliegen. (Zittel, K. A. v., Geschichte der Geologie n. Paläontologie, München 1899, S. 198.)

Es ist bis jetzt allerdings nicht gelungen, durch Abschätzung der Mächtigkeit der Sedimente eine präzise Vorstellung auch nur von der relativen Dauer der einzelnen Erdzeitalter zu gewinnen. Man hat durch dieses nur mit großem Vorbehalt anzuwendende Verfahren unter Vorantritt von Dana angenommen[1]), daß unter Gleichsetzung des Tertiär mit 1, das Mesozoikum = 3, das Paläozoikum = 12 wäre; nach Walcott gestaltet sich[2]) das Verhältnis etwa 2 : 5 : 12. Die vor dem Kambrium liegenden algonkischen und archäischen sedimentären Formationen aber übertreffen an Dauer die ganze fossilführende Serie vom Kambrium bis zur Jetztzeit bedeutend. Das Algonkium selbst dürfte nach Walcott an Länge dem Paläozoikum entsprechen. Die postarchäische Zeit schätzt er auf ein Minimum von 25—30, im Maximum aur 60—70 Millionen Jahre. „Geologic time is great but not of indefinite duration. I believe that it can be measured by tens of millions but not by single millions or hundreds of millions of years."

Je nach der Stelle, an der man sie vornimmt, ist die Schätzung der Mächtigkeit einer Formation oft etwas sehr Problematisches[3]),



Figur 51.

wenn man sich vergegenwärtigt, wie rasch die Ausbildungsweise ein und desselben Zeitalters wechselt von Ort zu Ort. „Wenn man die Profile verschiedener Gegenden miteinander vergleicht, dann ergibt sich, daß innerhalb desselben Zeitraumes die Gesteinsbildung bald ganz gering, bald ungemein intensiv war; das Kambrium in Norwegen ist etwa 100 m mächtig, trotzdem es paläontologisch gut zu gliedern ist. Das Kambrium in Neufundland ist 220 m, dieselbe Formation in Nevada 2400 m mächtig. Welche Zahl soll nun gelten, wenn man das Alter der kambrischen Zeit nach der Sedimentbildung schätzen will?" Es ist ja klar, daß in einer Marinregion mit geringer Zufuhr dünnere Sedimente entstehen als dort, wo Ströme Massen detritogenen Materiales hereinbringen; und selbst draußen am Boden der terrestrisch unbeeinflußten Hochsee wird sich der planktonische Globigerinenschlick dort, wo eine kältere Meeresströmung die Tierchen in ungezählten Scharen rasch zum Absterben bringt, rascher und mächtiger aufhäufen als dort, wo sie in normalen Mengen zum Boden hinabsinken, so daß nicht einmal die aus einer so einheitlichen Quelle sich rekrutierenden

1) Dana, J., Mannal of Geology, 4. Edit., London 1896, S. 1023; 1. Edit., S. 586.

2) Walcott, Ch. D., Geologic time; as indicated by the sedimentary rocks of North America. Journ. of Geology, Vol. I, Chicago 1893, S. 639—676. Auch: Proceed. Amer. Assoc. Advanc. Sci., Vol. 42, 1893, Salem 1894, S. 129—169.

3) Walther, J., Geschichte der Erde und des Lebens, Leipzig 1908, S. 164 ff.

Sedimente der Tiefsee auf größere Strecken gleiche Mächtigkeit beibehalten können. Schwamm- und Korallenriffe etwa des fränkisch-schwäbischen Jura bieten uns im Vergleich zu den sie umgebenden gleichalterigen Schichtgesteinen ein weiteres drastisches Beispiel des außerordentlich verschieden raschen Wachsens unmittelbar bei einanderliegender Sedimente derselben Zeit, und die nebenstehende, aus BUCKMAN entnommene Figur 51 gibt die relative Mächtigkeit nahe beieinander liegender Vorkommen des Dogger in England vergleichsweise an.

Ein weiterer Übelstand liegt darin, daß uns bis jetzt jedes Mittel fehlt, auch die Zeitdauer zwischen zwei großen, umfassenden Diskordanzen festzustellen; wenn das möglich wäre, müßte sich auch umgekehrt ein Rückschluß auf die Länge der anderwärts einer solchen Diskordanz äquivalenten Formationen oder Stufen ziehen lassen. Überhaupt leiden unsere Zeittafeln noch an dem Übelstande, daß die Grenzen zwischen den größeren Zeitaltern und Stufen zu wenig koinzidieren mit weltweiten Umsetzungen der Meere, und es gehört gerade zu den Aufgaben der Paläogeographie, dereinst eine Chronologie zu schaffen, welche dem Pulsschlag der Erde besser angepaßt ist, als die heutige auf engste europäische Verhältnisse begründete — wenn sich auch ein absolut gültiges Schema naturgemäß nie erreichen läßt.

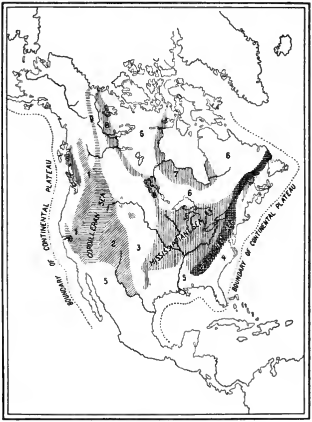
Um die absolute Dauer des Paläozoikums zu berechnen, nimmt WALCOTT das von ihm als „Cordilleran-“ und Paläo-Rockymountain-Sea“ bezeichnete westamerikanische paläozoische Meeresgebiet (Fig. 52). Seine Ausdehnung betrug schätzungsweise 400000 Quadratmeilen[1]). Es war begrenzt etwa vom 35° und 55° nördl. Br. und im Osten vom 111. Meridian, von wo sich im unteren und mittleren Kambrium ostwärts das Mississippi-Festland erstreckte; im Westen brandete es an ein den jetzigen Kordilleren entsprechendes etwa 150 Meilen breites Land. Im unteren und mittleren Kambrium lieferte noch der Mississippi-Kontinent Material in das Kordillerenmeer; später wurde das Gebiet kleiner, denn mit Ende des Mittelkambriums wurde die Mississippi-Region Meer, das mit dem Kordillerenmeer in der Rocky mountains-Gegend durch einen Archipel, sowie nördlich des 49° nördl. Br. in offene Verbindung trat.

In der erstgenannten Zeit dürfte die Region, aus der das Kordillerenmeer seine Zufuhr erhielt, ungefähr 1600000 qm groß gewesen sein, in nachkambrischer Zeit wohl nur noch 600000 qm. Schätzungsweise beträgt die Mächtigkeit der im Kordillerenmeer abgelagerten paläozoischen Sedimente 21000 Fuß[2]), etwas weniger als ein Drittel davon sind reine Kalke. Es ist nun zu untersuchen, unter welchen Bedingungen einerseits die Ablagerung der mechanisch-klastischen, andererseits der organogen-chemischen Sedimente vor sich ging, d. h. von wo und in welcher Menge in einer bestimmten Zeit das Material kam.

Die unter- und mittelkambrischen, und zwar zunächst die mechanisch-klastischen Sedimente des Kordillerenmeeres sind durchschnittlich 10000—15000 Fuß mächtig und erstrecken sich über ein Areal von rund 400000 Quadratmeilen. Die Frage ist also: wie lange Zeit bedurften diese zu ihrer Abtragung im umliegenden Festland bzw. zu ihrer Ablagerung im Meer? WALCOTT nimmt zuerst das Minimum der Mächtigkeit, nämlich 10000 Fuß. Es mußte somit von dem 1600000

1) Eine amerikanische Meile = 1609,3 m.
2) Ein amerikanischer Fuß = 0,3048 m.

Quadratmeilen großen Gebiet im ganzen eine Masse von 2500 Fuß Mächtigkeit abgetragen werden, um im Kordellierenmeer die 10000 Fuß dicke Sedimentserie zu bilden. Setzt man als Betrag der Denudation in 10000 Jahren = 1 Fuß, so ergibt sich für die Entstehung der kambrischen klastischen Sedimente eine Zeitdauer von 2500000 Jahren. Nimmt man aber die rascheste für die Jetztzeit erwiesene Abtragung = 1 Fuß in 200 Jahren an, so kommt man auf nur 500000 Jahre; das ist ein Minimum an Zeit unter allergünstigsten Bedingungen.



Figur 52.

Die nachkambrischen klastisch-mechanischen Sedimente des Kordillerenmeeres, die, wie oben erwähnt, von einem inzwischen auf etwa 600000 Quadratmeilen zusammengeschrumpften Festlandsareal gespeist wurden, betragen ca. 5000 Fuß. Setzt man auch hier wieder den Höchstbetrag der Denudation, so würden die klastisch-mechanischen Ablagerungen in 660000 Jahren entstanden sein und somit die ganze paläozoische klastisch-mechanische Sedimentserie im günstigsten Falle in rund 1200000 Jahren.

Nun ist zu berechnen die Ablagerungsdauer der chemisch-organogenen, d. h. reinen Kalksedimente, die für das ganze Paläozoikum durchschnittlich 6000 Fuß betragen und aus 2007244800 Tons[1]) Kalkkarbonat bestehen. Fußend auf dem über rezente Sedimentbildung Bekannten nimmt WALCOTT unter günstigsten Verhältnissen eine jährliche organogene Kalkabscheidung von 50,7 Tons pro Quadratmeile an und berechnet daraus für sein Gebiet eine Abscheidung von jährlich 81120000 Tons. Hierzu zählt er 42000000 Tons dem Kordillerenmeer jährlich vom Land unmittelbar zugeführten detritogenen Kalkes. Die obengenannten 2007244800 Tons Kalk im ganzen hätten also rund 16300000 Jahre gebraucht. Hierzu addiert die 1200000 Jahre klastisch-mechanischer Sedimente, er gibt sich für das ganze Paläozoikum ein Zeitraum von 17500000 Jahren, der gewiß noch nicht das Maximum des Wahrscheinlichen darstellt.

Seine im Detail begründeten, hier nur ihres Prinzipes wegen und darum nur mit ihren Endresultaten wiedergegebenen Berechnungen wollen und können ja nur approximative Schätzungen zutage fördern, aber gerade in diesem Sinne genommen, sind sie vertrauenerweckend, weil sie sich von vornherein auf ungemein mächtige Sedimente, auf ein weites Areal und auf einen gewiß sehr langen Zeitraum stützen, wodurch sich eine Menge kleiner Ungenauigkeiten kompensiert oder gar nicht angesichts der großen Endzahlen ins Gewicht fällt. Sie sind, da ja Ungenauigkeit doch in diesen Dingen nicht zu vermeiden ist, wertvoller als etwa jene Berechnungen, welche aus der Erosionsarbeit des Niagarafalles[2]) die Zeiträume des Quartärs ableiten wollen. POHLMANN gibt nach dem Rückschreiten des Niagarafalles die Länge der Postglazialzeit auf 3500 Jahre an, UPHAM zwischen 5000 und 10000 Jahre, HITCHCOCK auf 7800, WRIGHT wieder auf 10000 Jahre, SPENCER auf 32000 Jahre, LYELL auf 36000 Jahre, TAYLOR auf 50000 Jahre, GILBERT und WOODWARD 70000 Jahre und GRABAU schätzt das Alter des Niagara, bzw. was in diesem Falle dasselbe ist, die seit der letzten Eiszeit verflossene Zeit auf nicht unter 10000 und nicht über 50000 Jahre. Der Wahrheit am nächsten dürfte, wie SUPAN meint, SPENCER kommen mit 39000 Jahren, da er alle Verzögerungs- und Beschleunigungsmomente berücksichtigt habe. Was nützen uns also alle die vorhergehenden Berechnungen?

Was den Geologen aber an dem WALCOTT'schen Resultat interessiert, kann vernünftigerweise nur die mehr oder minder hohe Zahl der Millionen selbst sein. Denn es ist angesichts mancher nebelhaften Vorstellungen schon ein großer Fortschritt, eine ungefähre Vorstellung davon zu haben, ob man eine Ära, wie das Paläozoikum, mit 10, 50 oder 100 Millionen Jahren ansetzen soll, während es bei einer Berechnung, wie die für den Niagarafall, auf die minutiöse Herausarbeitung von Hunderten von Jahren ankommt, sonst kann das Resultat den Geologen nichtmehr interessieren, weil es ihm nichts sagt. Denn nur das, daß mehrere Tausend Jahre für das Alluvium anzusetzen sind, wissen wir ohnehin auch schon aus der Menschheitsgeschichte.

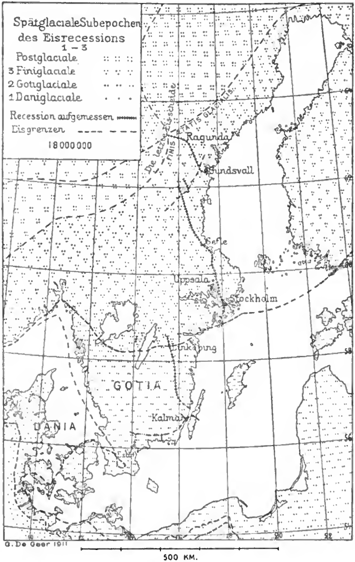
Daß alle Berechnungen natürlich im einzelnen roh und ungenau sind, daß der Denudationsbetrag nicht mit Sicherheit anzusetzen ist,

---

1) Ton = etwa 20,3 Ztr.

2) GRABAU, A. W., Guide to the geology and paleontology of Niagarafalls and vicinity. Bull. New York State Museum, Vol. IX, No. 45, S. 82ff.

daß dieser je nach dem Kohlensäuregehalt der Luft in einzelnen Erdperioden zweifellos schwanken muß[1]), abgesehen von sonstigen spe-



Figur 53.

1) Stevenson, J. J., The chemical and geological history of the atmosphere. Philosoph. Magaz., Vol. XI, Ser. 6, London 1906, S. 226—237. (Nach Referat im N. Jahrb. f. Mineral. etc. 1908, Bd. I, S. 211.)

ziellen und gar nicht zu kontrollierenden Zufälligkeiten, das ist ja selbstverständlich. Immerhin, für approximative Schätzungen genügt sie. Denn kennt man die Anzahl der Schichtbänke einer Sedimentserie und hat man einen Anhaltspunkt für die Durchschnittsdauer der Ablagerung einer Schicht, dann läßt sich die Ablagerungsdauer der ganzen Serie theoretisch berechnen.

Mit einer ähnlichen Methode versucht DE GEER die Dauer der Jetzt- und Diluvialzeit zu berechnen[1]). Im südlichen und zentralen Schweden haben die zurückweichenden Inlandeismassen auffallend regelmäßig einen zum Teil zwischen ebenso regelmäßigen kleinen Moränen liegenden Ton abgesetzt, der so fein und rhythmisch geschichtet ist, daß sich geradezu eine Jahresringbildung annehmen läßt. Beim Rückzug der letzten Inlandeisdecke Schwedens lagen die tieferen Teile des Landes noch unter Wasser. Am Gletscherrande blieben die Gerölle des vom Gletscherbache mitgeführten Materiales sofort liegen, während weiter draußen die kleineren Materialien und ganz am Außenrande die feinsten Sande und schließlich nur reiner Ton abgelagert wurden. Jeder Sommer brachte naturgemäß einen neuen Rückzug, der von Zeit zu Zeit etwa durch die winterlichen Einflüsse kompensiert wurde, was sich an manchen Stellen durch sehr kleine, aber deutlich markierte „Wintermoränen“ nachweisen läßt. Sie hatten keinen Einfluß auf die regelmäßige Ablagerung der Jahresringe in den feinen Materialien, wodurch der eigentliche Charakter und Zeitwert dieser Wintermoränen sich ohne weiteres erkennen läßt. Infolge des offenbar sehr gleichartigen Rückzuges liegen die Zonen ebenfalls sehr regelmäßig dachziegelartig hinter- bzw. übereinander.

Das wichtigste Hilfsmittel zur Jahreszählung sind nun die feinen Tonschichten. Sie liegen jetzt auf dem festen Lande. Um sie genau zu verfolgen, wurden Grabungen, Eisenbahneinschnitte usw. benützt, und so von Kilometer zu Kilometer die Schichten (Warwen) tunlichst genau parallelisiert. Die Beobachtungspunkte wurden sinngemäß durch Kurven verbunden, parallel zu den Endmoränen des Eisrandes. Auf einer in Fig. 30 dargestellten Vermessungslinie, die vom äußersten Süden in's zentrale Schweden reicht, hat DE GEER mit einem nur bei einem Nordländer möglichen, bewunderungswerten Fleiß seit 1878 in mühsamer Arbeit, sozusagen Schritt für Schritt die Intervallen des jährlichen Eisrückganges, wie die Jahresringe eines Baumes, abgezählt und glaubt auf diese Weise die Jahrhunderte ziemlich genau angeben zu können, die das Eis zu seinem Rückzuge über eine bestimmte Strecke gebrauchte. DE GEER rechnet direkt durch Additionen aus, daß „die ganze gotiglaziale Subepoche, d. i. die Zeit, während welcher das Eis von Zentralschonen über das alte Gotia bis zu den fennoskandischen Moränen zurückging, auf annähernd, aber wahrscheinlich auch nicht mehr als 3000 Jahre“ anzusetzen ist. „Das Ende der letzten Eiszeit, oder die finiglaziale Subepoche, kann auf dieselbe Weise auf nahezu 2000 Jahre geschätzt werden. Es scheint demnach, daß die beiden letzten Subepochen der letzten Rückzugsperiode des Eises, also die gotiglaziale und finiglaziale zusammen, etwa 5000 Jahre erreichten, aber wahrscheinlich auch nicht überschritten haben.“

Daß bei dieser von DE GEER befolgten Methode im einzelnen

1) DE GEER, G., Geochronologie der letzten 12 000 Jahre. Geol. Rundschau, Bd. III, Leipzig 1912, S. 457—471.

Irrtümer möglich sind und daß natürlich ein unbedingter Beweis dafür, daß die einzelnen Tonbänder wirklich einer gleichen Anzahl von Jahren[1]) entsprechen, nicht absolut erbracht werden kann, ist selbstverständlich. Hier kam es aber darauf an, an einigen ausgewählten Beispielen zu zeigen, wie die Zeitbestimmung mittels der Auszählung oder Berechnung der Sedimentationsvorgänge annähernd durchgeführt werden kann und welche Mittel sich hierzu erdenken lassen.

Einen Versuch, kleinere Zeitspannen, nämlich nur eine einzige Jurastufe ziffernmäßig festzulegen, hat ROTHPLETZ[2]) für die fränkischen lithographischen Schiefer gemacht. Aus dem Vorkommen der darin eingeschlossenen Fossilien, unter denen sogar so hinfällige Gebilde wie Quallen nicht selten sind, läßt sich nachweisen, daß, gering berechnet, die Aufschüttung pro Jahr mindestens 5 cm betragen hat. Nimmt man zu diesem Durchschnittsminimum ein Mächtigkeitsmaximum der Ablagerungen von 25 m, so muß die Serie der lithographischen Schiefer in einem Zeitraum von 500 Jahren abgelagert worden sein. Da dies in jeder Beziehung ein Extrem darstellt, kann man die Hälfte der Zeit, also ca. 250 Jahre annehmen. Das also wäre die Zeitdauer für den weißen Jura ζ in Franken. Natürlich wird man diese Zahl nicht so ohne weiteres auf die Dauer der übrigen 23 fränkisch-schwäbischen Jurastufen anwenden dürfen, etwa um durch die Multiplikation $23 \cdot 250$ oder $23 \cdot 500$ die Dauer der ganzen Juraformation mit ihren unter den allerverschiedenartigsten Umständen abgelagerten Stufen einfach herauszurechnen.

Um so interessanter ist darum ein auf ein nächstverwandtes Objekt gerichteter Versuch von POMPECKJ, die Ablagerungsdauer des weißen Jura β in Schwaben zu ermitteln[3]), der auch zu einem auffallend kurzen Betrage führt. In den Impressatonen des unteren weißen Jura (W. J. α) und den Bimammatusschichten (W. J. β) folgen in auffallend regelmäßigem Wechsel Tone und Kalke; zuerst bilden die Kalkbänke nur Zwischenlagen in mächtigen Tonlagen, die Kalkbänke folgen dann in immer geringeren Zwischenräumen, und im weißen Jura β sind es reine Kalkbänke mit nur allerdünnsten Tonzwischenlagen. Der Wechsel des Sedimentmateriales entspricht einer wechselnden Zufuhr vom Lande und diese ist abhängig von der ins Malmmeer strömenden Wasserquantität. Die Quanta wechseln mit den Niederschlagsmengen, diese mit den Jahreszeiten oder noch größeren Klimaperioden.

Für „Jahresringe" die Schichtunterbrechungen anzusehen, scheint POMPECKJ untunlich: die Ton- und Kalklagen sind einzeln zu mächtig und so zieht er die größeren 35jährigen BRÜCKNER'schen Perioden in Betracht. Daraus ergebe sich als Zeitdauer für die Aufhäufung der Gesteine der Bimammatusstufe im ganzen nur 3000 Jahre. Wenn man

1) Jahresringbildungen in Sedimenten wurden öfters schon nachzuweisen versucht, weil es, wie schon angedeutet, naheliegt, kleinere Sedimentationsschwankungen mit dem jährlichen periodischen Wechsel von Niederschlägen in Zusammenhang zu bringen. So verteidigt JOH. WALTHER die Anschauung, daß der regelmäßige Wechsel von Anhydrit- und Polyhalitschnüren im Salzlager von Staßfurt (Geschichte der Erde und des Lebens, Leipzig 1908, S. 21 u. 372) entstanden seien unter einem nach Maßgabe der Jahreszeiten stetig schwankenden Wasser- und Salzgehalt der Flüsse zustande gekommen sei. Die Erscheinung geht aber nach der Anschauung berufener Erforscher der Salzlagerstätten auf andere Ursachen zurück.

2) ROTHPLETZ, A., Über die Einbettung der Ammoniten in die Solnhofener Schichten. Abh. Königl. Bayer. Akad. Wiss., II. Kl., Bd. XXIV, 1909, S. 327ff.

3) POMPECKJ, J. F., Die Bedeutung des schwäbischen Jura für die Erdgeschichte. Akad. Antrittsvorlesung. Stuttgart 1914, S. 28/29.

auch nicht mit der Wahl von 35jährigen Perioden einverstanden ist und eventuell noch größere ansetzen wollte, so kommt man doch auch mit dem doppelten und dreifachen Betrage zu einer relativ so geringen Zahl von Jahren, daß hierdurch — zusammengehalten mit dem ROTHPLETZ'schen Resultate — sich ein ganz anschaulicher Begriff entwickelt über die verhältnismäßige Kürze der oberen Jurazeit mit ihren 6 oder 7 Hauptstufen, für die wir nach Analogie der beiden bisher ermittelten Beträge für Malm β und Malm ζ auch im Höchstfalle nur 40000 Jahre anzusetzen brauchten. Das klärt nicht nur unsere Anschauungen von der sonst millionenfach höher angenommenen Dauer dieser an Formenumwandlungen so reichen Zeit, sondern wirft auch ein Streiflicht auf die unerhört lange Dauer einzelner paläozoischer Formationen gegenüber den mesozoischen. Freilich tappen wir mit den erlangten Zahlen noch recht im Dunkeln und wir werden gut tun, uns vorerst noch nicht allzusehr auf sie zu verlassen.

2. Die relative geologische Zeitbestimmung.

Es ist bekannt, daß die ältere Geognosie der Meinung war, es seien zu bestimmten Zeiten auch ganz bestimmte Gesteine abgesetzt worden. Aus jener Periode datieren noch die Bezeichnungen „Kreideformation", „Buntsandsteinformation", „Steinkohlenformation", „Grauwackenformation". Man hat längst eingesehen, daß diese Auffassung in der von den Alten angenommenen Form nicht haltbar ist. Gleichwohl ist sie nicht ganz von der Hand zu weisen. Wohl jeder Geologe wird sich einer Äußerung des Erstaunens nicht erwehren können, wenn er die Devongesteine des Bosporus, der Eifel, Westfrankreichs und Nordspaniens vergleicht und sie nicht nur petrographisch, sondern auch nach ihrem Fossilinhalt und nach der Art der Fossilerhaltung nicht voneinander unterscheiden kann; wenn er die oberjurassischen alpinen Hornsteinschichten identisch wiederfindet in der Küstenregion Kaliforniens; wenn er in der alpinen Trias, deren prinzipielle Verschiedenheit von dem Binnenmuschelkalk der germanischen Trias jedes Lehrbuch laut betont, oft bis ins Detail genau die charakteristischen Faziesverhältnisse, Bankungen und Schichtoberflächen des letzteren wiederfindet; wenn er die alpine Trias des Himalaya, der Alpen und Nordamerikas in vielen Horizonten als geradezu identisch erkennt und wenn er Perm, Silur, Devon der Südalpen vielfach von dem Mittel- bzw. Norddeutschlands petrographisch nicht zu unterscheiden weiß, oder das rhätische Bonebed in Württemberg, England und in den Nordalpen der oberen Trias eingelagert sieht. Solche, geradezu frappierende Parallelen bestehen in überwältigender Menge. Daher kommt es, daß Geologen mit großer Erfahrung, denen viel Material durch die Hände gegangen ist und denen ein primäres Talent hierzu oder ein durch Übung erworbener Blick eigen ist, zuweilen auf den ersten Anblick schon von einem ihnen aus fremdem Land zugebrachten Gestein die Formationszugehörigkeit anzugeben wissen, genau wie ein geübter Paläontologe aus dem allgemeinen Charakter einer Fossilfauna, auch ohne charakteristische Leitfossilien das Alter bis auf Stufen und Unterstufen genau herauszulesen vermag. Es liegt, was gar nicht genug betont werden kann, weil es viel zu wenig auch in phylogenetisch-systematischen Studien beachtet wird, wie in dem der Gesteine, so auch in dem Charakter der Faunen, jeweils ein gewisser „Zeitgeist", der

Digitized by Google

wie eine Mode verbreitet, aber in seinem eigentlichen Wesen schwer zu fassen und schwer zu analysieren ist.

Wenn sich etwa die jurassischen Korallenkalke auf der ganzen Welt so sehr ähnlich sind, und wenn das auch für silurische untereinander gilt, und wenn diese von jenen stark verschieden sind, so ist das einfach zu erklären. Denn die am Aufbau der Riffe beteiligten sind eben in der Jurazeit einerseits, in der Silurzeit andrerseits alle gleich, in beiden Zeiten aber grundverschieden voneinander. Die Zeiten selbst sind nicht die Ursachen dieser Gleichheit bzw. Verschiedenheit, sondern die Tierwelt, die in jenen Zeiten lebte; und insofern nur sind, wenn wir uns dem in gewissem Sinne richtigen Standpunkt der Alten Rechnung tragen wollen, die Gesteine tatsächlich eine Funktion, nicht eine Folge der Zeit. Walther hat dieses Problem eingehend behandelt[1]): Die Organismen spielen in der Lithogenese eine außerordentlich wichtige Rolle, denn kohlensaurer Kalk würde sich ja im Meere gar nicht bilden ohne die Organismen; diese erst sind es, die ihn nicht nur fällen, sondern auch aus anderen Kalksalzen produzieren. Denn der Gehalt des Meerwassers an kohlensaurem Kalk ist außerordentlich gering und entspricht nicht im entferntesten den als Sediment zum Absatz kommenden Mengen. Von Art zu Art nun ist die bei der Lithogenesis ausgeübte Wirkung der Organismen eine andere. „Corallium rubrum bildet im Mittelmer ausgedehnte Kalkriffe, während die nahverwaudte Isis zu solchen Sedimenten keinen Anlaß gibt. Sphagnum ist durch seine vielen Wasserräume zur Torfbildung sehr geeignet, während nahe verwandte Anthocerosarten hierbei nicht beteiligt sind. Lithothamnium racemus bildet im Golf von Neapel in 50 m Tiefe ausgedehnte Kalklager, während L. cristatum am Strande wächst und hier nur dünne Krusten auf felsigem Boden erzeugt...... Eine Kalkbank, die durch Ostrea gebildet wurde, wird immer andere Eigenschaften besitzen, als eine Kalkschicht, die durch Placuna oder Anomia ausgeschieden wurde; .... eine in der Strandregion mit Posidonia bewachsene Sandablagerung bildet einen anderen Sandstein, als eine mit Algen besiedelte Sandfläche — kurzum, die Lebenserscheinungen bestimmter Tier- und Pflanzenarten geben den unter ihrem Einfluß gebildeten Gesteinen spezifische Charaktere."

Die Organismen wechseln im Laufe der Erdgeschichte beständig, ihre Arten und Gattungen, ihre Ordnungen und Unterordnungen. Auf die Graptolithenrasen des Paläozoikums folgen die Rudistenriffe des Mesozoikums, auf die Trilobiten die Ammoniten. So müssen sich mit den Arten und Gattungen, mit deren Lebensgewohnheiten und äußeren Erscheinungsweise auch die lithogenetischen Erscheinungen beständig geändert haben. Es sind in der Organismenwelt nicht nur Quantitäts-, es sind vor allem Qualitätsänderungen. Darum enthalten die übereinander liegenden Gesteinsschichten nicht nur verschiedene Faunen, sondern sie sind auch unter immer verschiedenen Umständen gebildet worden. Die chemischen und physikalischen Wirkungen sind stets dieselben gewesen. Käme es auf sie allein an, so würden wir auch zu allen Zeiten gleichartige Gesteine mit denselben wesentlichen Eigenschaften treffen; daß die Gesteinsreihe seit dem Kambrium aber immer wieder in anderen Zeiten andere Charaktere aufweist, beruht eben auf

1) Walther, J., Einleitung in die Geologie. III. Teil: Lithogenesis der Gegenwart, Jena 1894. S. 1002ff.

der Umwandlung der Organismenwelt. Soweit WALTHERS Gedankengang.

Nun muß man ja allerdings den letzteren Satz etwas einschränken. Die Gesteine wären in den Formationsreihen auch dann verschieden, wenn es keine Organismen gegeben hätte. Zwar sind die chemischen und physikalischen Gesetze wohl von jeher oder wenigstens für die vom Paläogeographen überblickte Zeit dieselben geblieben, aber nicht ihr Zusammenwirken und ihre Kombination. Durch das Aufsteigen verschiedenartiger Magmen und deren spätere Aufarbeitung haben sich die Sedimentkomponenten geändert; durch das Aufdringen der verschiedenartigsten Dämpfe bei der Metamorphosierung von Gesteinen, die in größere Tiefen verlagert wurden, haben sich verschiedenartige metamorphe Massen gebildet. Der Klimawechsel hat andersartige Verwitterungsverhältnisse mit sich gebracht und damit andersartige Verwitterungsprodukte, die zu Sedimenten wurden.

Ganz ähnlich äußert[1]) sich auch ANDRÉE. „Neben der Küstenentfernung und der Tiefe werden viele andere Faktoren ... für die Ausgestaltung der Sedimente von Bedeutung, wie Strömungsverhältnisse, O- und CO_2-Gehalt des Meereswassers, Vorherrschen oder Zurücktreten einer oder zweier der drei Lebensgemeinschaften des Meeres, Plankton, Nekton und Benthos, und manches andere mehr. Der vielfache Wechsel dieser Faktoren bedingt die Mannigfaltigkeit der Sedimente und es entsprechen bestimmten geographischen Konfigurationen bestimmte Sedimentgenossenschaften. In diesem Sinne ist es zu verstehen, daß L. CAYEUX, Frankreichs bedeutendster Sedimentpetrograph, gesagt hat, „que chaque époque comporte une échelle de distribution bathymétrique des sédiments qui lui est propre, et que, par conséquent celle qui a été fixée par les explorations sous- marines ne peut être appliquée aux terrains anciens". Es kann sich also keineswegs um eine einfache Übertragung der Verhältnisse, wie sie die heutige Sedimentbildung im Meere bedingen, auf die geologische Vorzeit handeln, sondern es bedarf einer genauen Abwägung aller hierbei möglichen Faktoren."

Immerhin wiederholen sich gewiß alle jene rein physikalischen Verhältnisse bis zu einem gewissen Grade überall oder örtlich in der Erdgeschichte, und *sie* hätten die große Variabilität der Sedimentgesteine, die wir tatsächlich beobachten, nicht herbeigeführt. Man darf ihnen im allgemeinen wohl nur jene Gesteine zuschreiben, die in allen Zeitaltern mit wesentlich gleichbleibenden Merkmalen wiederkehren — WALTHER nennt sie *Dauergesteine*, im Gegensatz zu den jeder Formation spezifischen *Leitgesteinen*. Allerdings scheiden die Kalke dabei völlig aus, und somit ist durch WALTHERS Gedankengang nicht nur eine Erklärung für das Auftreten der für einzelne Zeiten spezifischen Gesteine gegeben, sondern zugleich auch die Möglichkeit eröffnet, einmal aus dem Gesteinscharakter ebenso die Zeit der Entstehung relativ zu bestimmen, wie wir das jetzt aus den Körperformen der Fossilien tun. Allerdings sind wir zur Zeit noch nicht so weit, daß wir die relative Altersstellung und Parallelisierung der einzelnen Zeitabteilungen auf rein petrographischer Basis durchführen könnten. In tektonisch ungestörten oder nur sehr einfach gestörten Gegenden mag dies ja angehen.

1) ANDRÉE, K., Probleme der Ozeanographie in ihrer Bedeutung für die Geologie. Naturw. Wochenschr., Bd. XXVII (N. F. XI), Jena 1912, S. 248.

aber das kann doch nur für ganz lokale Verhältnisse gelten, und die neuere Gliederung des fossilleeren untertriassischen Buntsandsteines in Südwestdeutschland ist ein warnendes Beispiel, wie man es nicht machen soll. Strebt also der Paläogeograph eine möglichst genaue, naturgetreue Darstellung der Land- und Meeresgrenzen an, so wird er einer umso feiner ausgearbeiteten Fossilienkunde bedürfen, je weniger seine Karten eine allgemeine Übersicht über einen sehr großen Zeitraum bieten wollen, je mehr sie Momentaufnahmen der Erdoberfläche in engsten Zeitphasen bedeuten sollen.

Alle Forscher sind heute darin einig, daß eine relative Zeitbestimmung nur mittels der Fossilinhalte der Schichten, nicht auf rein petrographischer Basis allein möglich ist.

Wenn wir zwei identische oder doch im wesentlichen gleichartige fossile Faunen an weit voneinander entfernten Punkten der Erde entdecken, nehmen wir an, daß sie „geologisch gleichalterig" sind und dies besonders dann, wenn auch in den darunter bzw. darüber liegenden Stufen die Ähnlichkeit oder gar Übereinstimmung des Fossilinhaltes eventuell bis auf wenige Arten an beiden Orten sich entspricht. Einen solchen Fall haben wir etwa im Jura von Kutch an der Indusmündung, wo sich durch die Ammoniten angeblich eine größere Anzahl von Stufen in gleicher Reihenfolge wie im fränkisch-schwäbischen Jura sich haben nachweisen lassen und ganz dasselbe scheint auch in Südamerika der Fall zu sein. Entstanden durch lokale Untersuchungen und Vergleiche wurde sie über die Erde hin nach und nach ausgedehnt, aber die Unsicherheit der Methode wächst mit der Entfernung, solange man im einzelnen Falle keine Klarheit darüber hat, wie und von wo die Lebewesen an jenen Ort kamen, an dem sie heute fossil gefunden werden.

Kurz gesagt, beruht die moderne paläontologische Stratigraphie auf dem Satz, daß gleiche Tier- und Pflanzenspezies Gleichalterigkeit ihrer Lager bedeuten. Je minutiöser eine Fossilbestimmung daher durchgeführt wird, umso mehr — glaubt man — einen exakten Anhaltspunkt für die Beurteilung der Gleich- oder Nichtgleichalterigkeit der betreffenden Straten zu besitzen. Die Folge dieser Auffassung war, eine in den letzten 30 Jahren sich vollziehende minutiöse Aufteilung aller fossilen Formen in ein unübersehbares Heer sogenannter „Arten", ein Verfahren, das umso größere Dimensionen annehmen mußte, je mehr man die spezifische Identität mit morphologischer Identität gleichsetzte und je weniger man daran dachte, in den lebenden Formen nicht mathematisch-stereometrische Körper, sondern von biologischen Verhältnissen abhängige und in ihrer äußeren Gestalt ihnen anpassungsfähige Lebewesen zu sehen. Man sprach in gelehrten und bis zum Überdruß in populären Büchern von der Inkonstanz der Formen, von der Variabilität und von der allmählichen Umwandlung aller Lebewesen, von der hierdurch bedingten Relativität des Artbegriffs wie von einem Dogma und sündigte gleichzeitig gegen den Geist dieser Lehre durch vielfach sinnlose Speziesmacherei nach rein stereometrisch-morphologischem Gesichtspunkte.

Bedeutet aber morphologische Identität der einzelnen Arten bzw. ganzer Faunen verschiedener Örtlichkeiten auch tatsächlich Gleichzeitigkeit in der Entstehung ihrer Lager? Das ist die für den Paläogeographen wichtige Grundfrage, weil er wissen muß, ob die auf dieser

Voraussetzung von der Geologie ihm gelieferten Daten die Konstruktion einer zeitlich einheitlichen Karte gestatten. Oder, wie man den Satz auch anders formuliert: Sind die nach dem paläontologisch-stratigraphischen Verfahren parallelisierten Schichten homotax oder synchron? Da ist die Vorfrage zu erledigen: Wie kommen gleiche Arten in weit von einander entfernte Becken bzw. Länder?

Wenn man an dem Dogma festhält, daß jede Form, ja jede weltweit verbreitete morphologische Art nur an einem Punkte der Erde jeweils entsteht und von dort an alle ihre späteren Aufenthaltsorte durch Migration ausstrahlt, so bleibt nichts übrig, als das geologisch scheinbar Gleichalterige für ein zeitlich Verschiedenalteriges zu halten, und etwa das Auftreten einer gleichartigen Devonfauna in Südamerika und den Ardennen, für eine homotaxe Erscheinung im Verband der Formationsentwicklung, nicht aber für eine synchrone zu halten. Denn dann hat etwa DENINGER recht[1]), wenn er z. B. von der rhätischen Stufe mit Avicula contorta behauptet, daß die oft petrographisch und faunistisch identischen Vorkommen dieser außerordentlich dünnen und doch so charakteristischen Stufe unmöglich in genau der gleichen Art an entfernten Stellen gleichzeitig abgelagert werden konnten, sondern daß die Fazies gewandert sei, genau so, wie man annimmt, daß die Flyschfazies der Voralpen in den Karpathen im Neokom einsetzte, in der oberen Kreide in Bayern, im Tertiär in der Schweiz anlangte. Im letzteren Falle kann sich die Sache wohl so verhalten, weil wir tatsächlich durch Fossilien die Altersstufe genau bestimmen können und sich die Neokomversteinerungen der Wiener Flyschzone von den tertiären des Schweizer Flysches unmittelbar unterscheiden lassen. Aber bei dem von DENINGER u. a. gewählten Beispiel des Rhät sind ja gleiche Fossilien in der so weit entfernten identen Fazies, und darum nehmen wir hier Gleichalterigkeit an.

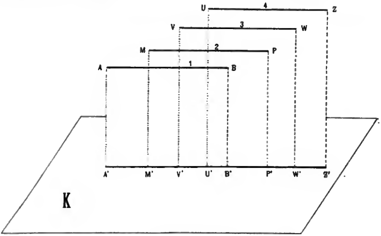
SEMPER hat sehr eindringlich darzutun versucht[2]), daß gerade mit dieser Altersbestimmungsfrage die ganze paläogeographische Rekonstruktionsmethode steht und fällt. Da er ebenfalls den Standpunkt teilt, daß ein Formen- oder Faunentypus nur an einem sehr beschränkten Orte der Erde sich entwickelt, so bleibe für alle Altersparallelisierungen stets eine Weite des zeitlichen Spielraumes, der mit der räumlichen Entfernung der verglichenen Ablagerungen wachse. Infolgedessen gäben unsere bisherigen paläogeographischen Kartenkonstruktionen nur ein Schema für die Maximalausdehnung einer Fauna während der Gesamtdauer ihrer Existenz. Wenn man also etwa ein Bild entwerfe: „Die Erde im Karbon“, so sei dieses vielleicht wertvoll als eine Art abgedeckter geologischer Karte, das die Verbreitung einer bestimmten Formation, eines bestimmten Faunentypus und seiner Homotaxen zeige, aber es sei keine wirklich geographische, den heutigen Erdoberflächenkarten entsprechende Darstellung der vorweltlichen Erdoberfläche und daher z. B. ungeeignet für paläoklimatologische Untersuchungen.

Wenn man den von SEMPER u. a. eingenommenen Standpunkt teilt, dann sind tatsächlich unsere paläogeographischen Karten, soweit

1) DENINGER, K., Einige Bemerkungen über die Stratigraphie der Molukken und über den Wert paläontologischer Altersbestimmungen überhaupt. Neues Jahrb. f. Mineral. etc., Stuttgart 1910, II, S. 1—15.

2) SEMPER, M., Die Grundlagen paläogeographischer Untersuchungen. Centralbl. f. Mineral. etc., Stuttgart 1908, S. 434—445.

sie sich auf einen ausgedehnten Raum erstrecken, Projektionen mehrerer Zeiten und Oberflächengestaltungen auf ein Blatt, wie das im Kap. II, S. 22 schon auseinandergesetzt worden ist. Man kann sich dies durch das beifolgende Schema (Fig. 54) anschaulich machen. Die oberen parallelen schwarzen Striche AB, NP, VW, UZ repräsentieren als übereinanderliegende Schichten eine Zeitenfolge. In der Zeit 1 entsteht in einem beschränkten Meeresbecken eine Fauna. In Zeit 2 nimmt sie nur den Raum MP ein, welchen man sich gegenüber dem von Zeit 1 in einer bestimmten Himmelsrichtung etwas verschoben denken kann und wobei wir annehmen wollen, daß auch das Meeresareal, in dem die betreffende Fauna lebte, sich im gleichen Sinne verschoben habe. Entsprechend sei es in Zeit 3 und 4. Fauna und Meer hatten also nie eine wesentlich andere Ausdehnung als die, welche der Länge nur einer einzigen der Linien 1—4 entspricht. Infolge der Faunenidentität in allen vier Stufen aber setzt man alle die vier Vorkommen an den verschiedenen Örtlichkeiten als altersgleich und projiziert sie auf die Fläche



Figur 54.

des Kartenblattes K. Man erhält so ein Meer mit einer Fauna von der Ausdehnung A' Z', also fast das Doppelte von dem jeweils von der betreffenden Fauna und ihrem Wohngebiete eingenommenen Areal.

Allerdings wird das ein nicht gerade sehr häufiger Fall sein, weil ein derartiges Nomadisieren von Ort zu Ort für ganze Faunen und ihr Wohngebiet kaum je in dieser schematischen Weise vor sich geht. Man berücksichtigt in solchen Fällen ja auch noch die Art, wie eine solche Fauna mit älteren und jüngeren Zeitstufen und deren Fossilinhalt verknüpft ist, und außerdem werden ja stets einzelne Spezies einer solchen Fauna auch anderwärts noch auftreten, und umgekehrt. Aber dennoch sieht man an einem derartigen Beispiele im Prinzip wenigstens, daß die Frage der Altersparallelisierung auf ein noch ganz unsicheres Fundament gebaut ist, und mit ihm steht und fällt unsere geologische Zeittafel, stehen und fallen unsere paläogeogra-

phischen Karten. Es stecken darin eine ganze Menge Einzelfragen, die alle für sich behandelt und geklärt sein wollen, ehe unsere Altersbestimmungen das werden, was sie sein sollen: es steckt darin die Annahme, daß gleiche Formen jeweils zu gleicher oder bis auf wenige Jahrhunderte gleicher Zeit auf der Erde an vielen Orten gelebt haben; es steckt darin die Frage, was spezifische Identität, was „Art" ist? Und es steckt darin die Frage, ob nicht mehr oder minder heterogene Stammlinien gleichzeitig oder zu verschiedenen Zeiten mit morphologisch gleichartigen Konvergenzformen endigen können. Also die allerschwierigsten Fragen der Deszendenztheorie sprechen hier herein, und es ist eine der wichtigsten Aufgaben der Paläogeographie, sie durchzudenken. Nur ein Gesichtspunkt sei besprochen, der die Frage nach der Altersbestimmung der Schichten beleuchten kann und der auch für die Tiergeographie von der allergrößten Bedeutung ist.

Wenn man voraussetzt, daß jede Tierform und jede Tierart nur an einem Punkte der Erde entsteht bzw. entstanden ist, so muß man bei der notorisch so außerordentlichen Einheitlichkeit mancher Faunen über die ganze Erde hinweg, wie etwa der Jurafaunen mit wenigen Ausnahmen, auch folgern, daß diese Gleichartigkeit mit jeder neuen Stufe und Unterstufe auch stets wieder auf's neue dadurch erreicht wurde, daß alle jeweils an einem einzigen eigenen Heimatsort entstandenen Arten und Gattungen sich stets wieder von neuem über die ganze Welt hin austauschten. Zu solchen durch ungezählte Wanderungen nur erreichbaren Auswechselungen der Formen über fast alle Gebiete der Welt hin, wären ungezählte Jahrtausende zu fordern, während welcher — ehe der Austausch beendet war — die oft nur wenige Meter mächtigen Sedimente der Stufen eine höchst verschiedenartige und heterogene Fauna in den einzelnen Ländern zeigen müßten; zugleich müßte man zu der Vorstellung gelangen, daß jede kleine Jurastufe einen derart endlosen Zeitraum repräsentiert, daß die Sedimentbildung in Jahrtausenden fast Null gewesen wäre und sich erst dann einigermaßen bemerkbar gemacht hätte, als der Austausch über die Erde hin beendet war und nun die einheitlichen Faunen überall zum Absatz gelangen konnten. Wo aber bleiben dann die Fossilresiduen aus der Anfangszeit jeder Stufe, da die Fauna noch überall hätte unausgeglichen bleiben müssen.

Auf enger Lokalität gibt man mehrfache Entstehung zu; wo ist die Grenze von eng und weit?

Es ist uns durch entwicklungsgeschichtliche Studien längst klar geworden, daß die Umwandlung derselben Tierformen auf einer Unzahl von Einzellinien an verschiedenen Orten vor sich gegangen ist. Wir können so und so oft an einer engbegrenzten Stelle Formenreihen durch mehrere geologische Stufen hindurch verfolgen und an einer anderen Stelle ebenfalls, ohne daß die Formenreihen im einzelnen absolut identisch wären; aber dennoch gehen sie einen im wesentlichen gleichen morphologischen Weg: Ein vorzügliches Beispiel hierfür bietet am Ende der Jura- und Anfang der Kreidezeit die Umwandlung des Ammonitentypus Perisphinctes in die Typen Hoplites und Holcostephanus. Auf den verschiedensten Linien und in mehreren Weltgegenden wird dieses neue Umwandlungsziel erreicht, und wenn wir daher in der unteren Kreidezeit der ganzen Welt Hopliten oder Holcostephanen finden, so liegt der Gedanke nahe, daß sie sich überall im gleichen Sinne und zu gleicher Zeit aus ehedem schon an Ort und

Stelle vorhandenen Perisphincten entwickelt haben, daß also Wanderungen in dem oben angenommenen Maße gar nicht nötig waren, um in aller Welt den für die untere Kreidezeit charakteristischen Hoplites- und Holcostephanustyp in die Sedimente jener Epoche hineinzubringen. Nimmt man daher, um auf unser früheres Beispiel von den Jurastufen zurückzukommen, an, daß zu einer beliebig gegebenen Zeit eine gewisse allgemeine Verteilung gleicher Typen vollendet war, so läßt sich auch nach der entwicklungsgeschichtlichen Erfahrung folgern, daß gleichsinnig in allen Teilen der Welt die Umwandlung der für die späteren Stufen charakteristischen Faunen sich vollzog und daß damit Wanderungen, sowie die endlosen Zeiträume für die Wanderungen nichtmehr gefordert zu werden brauchen.

Man wird natürlich Wanderungen nicht unbedingt ausschließen dürfen, denn wir können sie nicht nur heute direkt beobachten, sondern kennen auch aus der Vorwelt Beispiele, welche uns vermuten lassen, daß Wanderungen stattfanden. Abgesehen von den Fällen passiver Wanderung, wo ein transgredierendes, neue Gebiete gewinnendes Meer auch seine Fauna mitbringt, scheint es auch aktive Wanderungen zu geben. Wir kennen den autonomen, nicht durch den menschlichen Seeverkehr und Handel bewirkten Austausch der Fauna des Roten Meeres und der des Mittelmeeres durch die Entstehung des Suezkanales[1]); wir kennen Fälle, wo bestimmte Typen an einem einzigen Orte zuerst auftraten, so z. B. die Belemniten im Rhät von Oberitalien, und schließlich gibt es auch Formen, die nur in einem einzigen beschränkten Lebensbezirk lebten, wie die Harpoceratengattung Bouléiceras im Lias von Madagaskar. Aber gerade der Umstand, daß wir solche Beispiele als Ausnahmen unter der Masse der anderen Fossilien zu erkennen vermögen, beweist uns, daß die anderen Vorkommen keine Wanderungsresultate sind, sonst ließen sich die Einzelfälle ja nicht als solche unterscheiden; mit anderen Worten: daß sich die Faunen gleichsinnig umwandeln, daß also dieselben Formen an verschiedenen Punkten der Erde entstehen und daß jede neue geologische Stufe vergleichbar ist einem besäten Beet, aus dem an allen Stellen gleichzeitig die jungen Pflanzen aufsprießen.

Ist unsere Auffassung richtig, so wird sie die bisherige Methode der paläontologischen Altersparallelisierung nicht umstoßen, sondern sie erst recht bestehen lassen; dagegen wird die Tiergeographie, worauf später zurückzukommen sein wird, bedenklich eingeschränkt werden. Ein für unsere Auffassung sprechender Gesichtspunkt ist der, daß zu gleichen geologischen Zeiten unter den Tiergruppen ein gewisser gleichartiger Baustil herrscht, worauf schon einmal hingewiesen wurde. Gewisse Eigentümlichkeiten kehren dann bei einer ganzen Anzahl nicht unmittelbar verwandter Gattungen oder Arten wieder, gerade als würden die Lebensumstände Formerscheinungen fordern, denen alle Typen nachzukommen streben. Warum wiederholen die Beuteltiere Australiens Typen, die wir sonst nur unter den höheren Säugetieren zu sehen gewohnt sind, wie Wolf, Ratte usw. Heterogene Formen bilden also zur selben Zeit gleiche Typen aus, die bei nicht allzu entfernter Stammeszugehörigkeit geradezu konvergent identisch werden können.

1) Keller, C., Die Fauna im Suezkanal und die Diffusion der mediterranen und erythräischen Tierwelt. Denkschr. Schweiz. Ges. f. Naturwiss., Bd. XXVIII, Abt. III, Basel 1882, S. 2—39. (Mit Karte.)

Wie kommt es, daß im Silur die Knoten- und Stachelbildung auf den Schalen der turbiniden und trochiden Gastropoden in so unbeholfener Weise durch Aufwellung der Anwachslamellen erreicht wird, während im Devon sich die Kiele zu hohlen Röhrenstacheln auflösen, oder solche sich unmittelbar auf die glatte Schale aufsetzen, und daß später im Jura so ausgearbeitete und präzise gebaute Stacheln, wie die der Spinigera gebaut werden, die in gleicher Vollendung kein paläozoischer Gastropode aufzuweisen hat. Gerade solche Erscheinungen scheinen mir dafür zu sprechen, daß es orthogenetische Entwicklungen sind und daß aus diesem Grunde die stratigraphischen Parallelisierungen auch richtige Zeitäquivalente feststellen. Freilich, exakte Beweise sind auch das nicht, aber die, welche der Meinung sind, daß Faunen- bzw. Formengleichheit weit entfernter Schichtvorkommen keine auf ein Jahrtausend genaue Altersgleichsetzung erlaube, können das nur mit der ganz unwahrscheinlishen Annahme plausibel machen, daß jede Form nur an einem Punkte der Erde entstehe.

Daß wir in der Erdgeschichte mit sehr großen Zeiträumen rechnen müssen, darüber herrscht vollkommene Übereinstimmung. Daß als synchron angesehene, weit von einander entfernte Schichten zwar nicht auf Jahre und auf ein Jahrhundert, wohl aber auf mehrere Jahrhunderte gelegentlich koinzidieren, scheint mir umso wahrscheinlicher, als man Anhaltspunkte für eine teilweise überraschend schnelle Sedimentierung einer stratigraphischen Stufe mit eigener Fauna haben. So haben sich, wie S. 281 gezeigt wurde, die berühmten oberjurassischen Lithographenschiefer vielleicht im Verlaufe mehrerer Jahrhunderte abgelagert und sie entsprechen einer der übrigen 18 Hauptjurastufen mit einer eigenen Fauna, von denen auch zum Teil, wie vorhin schon angegeben wurde, eine verhältnismäßig sehr rasche Entstehung angenommen werden kann.

Ob die mit Hilfe der Fossilien gemachte Zeiteinteilung bzw. Altersparallelisierungen nun auch wirklich synchrone, nicht nur homotaxe Abschnitte in den verschiedenen Gegenden der Erde ausscheiden lassen, ist also ein Problem, dessen Lösung, soweit es sich heute beurteilen läßt, von der Biologie abhängt. Ergeben sich im Laufe der Zeit Anhaltspunkte dafür, nach welchem Modus und Rhythmus, nach welchen Gesetzen sich das Leben der Erde zu gleicher Zeit gleichsinnig umwandelt und weitverbreitete Arten zu gleicher Zeit in ihren einzelnen Vertretern in gleicher Richtung Mutationen hervorbringen, dann wird der geologisch-stratigraphischen Zone ein anderer Sinn zukommen, als wenn es sich herausstellen sollte, daß Umwandlungen in den Faunen nach Örtlichkeiten zu verschiedenen Zeiten sich vollziehen. Angesichts der Tatsache, daß im letzteren Falle die außerordentliche Ähnlichkeit des aus den verschiedensten Tiergruppen zusammengesetzten Fossilinhaltes einzelner weltweit getrennter Vorkommen gar nicht verständlich wäre, und angesichts der weiteren Tatsache, daß das Auftreten neuer Formen ganz unabhängig von erdgeschichtlichen Ereignissen sich vollzogen zu haben scheint, daß das Leben in seiner Entwicklung autonom ist, halte ich daran fest, daß unsere stratigraphischen Altersparallelisierungen — von geringen, im Einzelfalle sehr wohl näher bestimmbaren Modifikationen abgesehen — auch wirkliche Gleichalterigkeit bedeuten. Voraussetzung dabei ist allerdings eine jeweilige Würdigung und Vergleichung ganzer Faunen und ihres allgemeinen Formencharakters, nicht nur die Parallelisierung mittels eines einzigen „Leitfossils“.

Das gleichzeitige Ablaufen zweier Ereignisse in der Erdgeschichte nennt WILLIS Korrelation[1]). Aber er unterscheidet zwei Arten von Gleichzeitigkeit. Wir bezeichnen das Leben zweier Menschen, sagt er, als gleichzeitig, wenn die Perioden ihres Schaffens und Wirkens zusammenfallen, wenn auch der eine später geboren sein und länger leben kann, als der andere; dagegen sprechen wir nicht von „gleichzeitig", wenn beide, der eine als Kind, der andere als Greis, nur ein paar Jahre zusammenleben. Unser Zeitbegriff beruht auf der Veränderlichkeit der Dinge. Wäre die Natur absolut unveränderlich, so verginge zwar die Zeit an und für sich, aber der Ablauf wäre nicht zu bemerken. Je lebhafter und je abwechslungsreicher der Ablauf der Vorgänge, umso leichter und deutlicher und in um so kürzere, präzisere Zeitteile lassen sie sich zerlegen; aber umso weniger groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß jede einzelne Phase sich mit anderen, sonstwo auf die gleiche Weise gewonnenen Einteilungen deckt. Umgekehrt: wenn ein Ereignis lange Zeit den gleichen Charakter beibehält, so daß man seinen Verlauf nur in sehr lange Phasen einzuteilen vermag, dann werden diese mit den Phasen eines anderen Ereignisses von gleicher bzw. ähnlicher Ablaufsträgheit viel öfter und vollständiger sich decken. Die Korrelation wird, um mit WILLIS zu reden, im letzteren Falle viel vollkommener sein, als im ersteren. So war die Marintransgression in Nordamerika während des Kambriums insoferne gleichzeitig mit der in einem großen Teile Eurasiens, als die lange Dauer dieses sich langsam vollziehenden Ereignisses eine im Ganzen genommene Koinzidenz in beiden Weltteilen bewirkte. Nimmt man aber den Augenblick des Auftretens der Marinfauna in jedem engsten, von der Transgression erreichten Streifen Landes, dann kann man diesen Zeitpunkt nicht in allen Regionen als gleichzeitig ansehen. Wohl aber hat die Fauna überall danach gleichzeitig gelebt.

Insoferne hängt ja das Erscheinen von Tierformen von den physikalischen Bedingungen ab und durch Hinzukommen anderer Elemente, entweder infolge selbständiger Migration oder passiver Verfrachtung, kann gewiß das Faunenbild einer Region in weitgehender Weise verändert werden. Aber es wird in diesem Falle doch verändert durch Typen, die eben schon an anderen Orten als solche existierten. Das darf aber nicht verwechselt werden mit dem oben berührten Auftreten neuer Formen infolge von stammesgeschichtlicher Umwandlung aus der an einem Ort schon vorhanden gewesenen. Wenn wir — ich kann immer nur wieder auf die überraschende Faunenfolge in den kleinsten Abschnitten der Juraformation der ganzen Welt hinweisen — überall mutativ gleichartige Formen von Stufe zu Stufe antreffen und darunter nie den Fall haben, daß Arten bzw. Mutationen irgendwo gewissermaßen verspätet auftreten und nie zusammen mit solchen eines bis dato für verschiedenalterig gehaltenen Horizontes[2]), und wenn dadurch noch nie in die minutiös durchgeführte stratigraphische Zeittabelle Perturbationen gebracht worden sind, sondern diese sich vielmehr bisher auf der ganzen Welt ausgezeichnet bewährte, obwohl sie

1) WILLIS, B., Principles of Paleogeography. Science, Vol. XXXI, New Ser., New York 1910, S. 254.

2) Der von M. NEUMAYR seinerzeit beschriebene Fall, daß bei Balin die anderwärts zeitlich getrennten Faunen des Dogger in einem und demselben Horizont auftreten, beruht auf einem oberflächlicher Aufsammlung und Etikettierung entsprungenen Irrtum.

aus lokalen Profilen entstand, dann ist diese Sicherheit, man möchte geradezu sagen: *dieser Rhythmus im Erscheinen der neuen Faunen ein deutlicher Hinweis auf ihre gleichsinnige Umbildung in der ganzen Welt.* Wanderungen als solche, d. i. früheres Auftreten der einen oder anderen Form an irgend einem Punkte, wie es vorhin für die kambrische Transgressionsfauna herangezogen wurde, lassen sich stets als solche erkennen und heben sich ganz klar von der anderen, zuletzt genannten Erscheinung des stammesgeschichtlichen Auftretens ab. So wissen wir, daß der Typus Belemnites s. str. zuerst im allerobersten Grenzrhät Oberitaliens erscheint und bei uns erst im eigentlichen Lias; noch nie aber ist über die Altersfolge von Lias und Rhät selbst ein Zweifel gewesen, weil eben die ganzen Faunen überall ihren bestimmten Charakter haben. Man hegeht daher auf Grund des Belemniten keine falsche Altersparallelisierung, sondern sagt, wie es auch ganz richtig ist: Der Belemnit tritt im südalpinen Rhät zuerst auf; aber man sagt nicht, das südalpine Rhät ist schon Lias. Genau das Gleiche ist mit dem vielgenannten Paradigma der australischen Tierwelt der Fall. Wenn man wegen des ursprünglichen Fehlens der Säugetiere zuweilen den Vergleich gebrauchte, Australien befinde sich heute gewissermaßen noch in der Tertiärzeit, so ist das, wenn man auch alles in Abzug bringt, was das Eindringen des Kulturmenschen an Veränderungen mit sich gebracht hat, trotzdem unrichtig. Denn nie würde man, wenn die australische Tierwelt fossil vorläge, sie in das Tertiär einreihen, sondern man würde lediglich sagen, daß dort die alten tertiären Beutler mit veränderten Arten in's Alluvium hereingingen. Unsere Altersparallelisierungen beruhen außerdem ja nicht *nur* auf dem plumpen Aufsuchen einer Leitform bezw. eines Leittypus, sondern auch auf einer vergleichsweisen Mithereinziehung der älteren und jüngeren Schichten an ein und derselben Lokalität.

Wenn wir, wie ich schon früher auszuführen Gelegenheit hatte, wissen, daß an verschiedenen Stellen bei einer Unzahl von Individuen sich von Horizont zu Horizont die Mutationen ein und derselben Art nachweisen lassen, dann steht prinzipiell nichtsmehr im Wege, diese Erscheinung für noch größere Areale und schließlich für die ganze Welt gelten zu lassen und nicht für jede neue Mutation einen fast mathematisch beschränkten Entstehungspunkt anzunehmen, nämlich nur ein Individuum oder ein Elternpaar. Nimmt man aber ein mehr oder minder beschränktes Becken an, in dem sich unter den Hunderten von Vertretern einer Art — die Gründe für die Umwandlung der Tierwelt sind innere und äußere — die gleichen Mutationen einstellten, dann hindert nichts mehr, diese Möglichkeit auf *alle* entsprechenden Regionen der Welt, wo die Art zuvor schon lebte, auszudehnen, und dann braucht man nichtmehr für das Auftreten identischer Formen in weitentfernten Weltteilen eine mehr oder minder lange Wanderungszeit vorauszusetzen, sondern man hat gleichalterige Schichten mit gleichen Faunen. Das ist es aber, was uns die Natur tatsächlich bietet. Allerdings, woher ganz neue Typen ursprünglich kamen, wissen wir nicht; das ist ein noch ganz ungelöstes Rätsel, über das uns bisher noch keine Spekulation hinüber zu helfen vermochte. Es mag sein, daß *der* Seeigel, *der* Trilobit, *der* Gastropod ursprünglich nur an einer Stelle der Erde in Einzahl oder in einem Paar entstand und sich von da über die Erde verbreitete — wir wissen es eben nicht. Waren aber einmal die Formen als solche, d. h. die Grundtypen, da,

Digitized by Google

dann stand dem nichtsmehr im Wege, daß sich das Leben kraft seiner autonomen und regulativen Formenbildungsfähigkeit gleichsinnig und daher überall durch die Jahrhunderttausende orthogenetisch abänderte. So wenigstens erklärt sich der tatsächliche Befund in den feinsten Stufenfolgen der Erde besser, als unter der Annahme örtlich beschränktester Formenentstehung, die in ihren stratigraphischen Konsequenzen zu Vorstellungen führt, welche dem Befunde in der Natur nicht entsprechen. Es müßte dann nämlich ein Durcheinanderauftreten aller der feinsten Mutationen vorliegen, während sie tatsächlich in säuberlicher Folge geordnet, in gleichem Rhythmus durch die feinst gegliederten Stufen aller Formationen hindurch auf der ganzen Welt erscheinen. In dieser Hinsicht mag vielleicht folgendes Beispiel von Wert sein. In China ist marines Mittelkarbon durch Fossilien festgestellt. Die zwischengeschalteten Kohlenlager führen Pflanzen, die sich nur außerordentlich wenig von den im stratigraphischen Alter entsprechenden europäischen unterscheiden. Also auch hierbei eine vollkommene Koinzidenz der gleichen biologischen Erscheinungen (Landpflanzen und Marintiere) zwischen den europäischen und dem ostasiatischen Karbon, die nicht durch jedesmalige Wanderung zu erklären sind.

3. Die stratigraphische Zeiteinheit.

Dürfen wir also im einen oder im anderen Sinne mit gutem Recht annehmen, daß die hergebrachten stratigraphischen Altersparallelisierungen eine zur Rekonstruktion paläogeographischer Karten hinlängliche Gleichzeitigkeit garantieren und uns so die Möglichkeit einer genaueren Feststellung der Verteilung von Land und Meer in einer relativ engbegrenzten Zeit gewähren, so bleibt noch die andere Frage zu erledigen, welches denn die für paläogeographische Zwecke eben noch brauchbare kleinste relative Zeiteinheit ist? Als solche gilt in der Stratigraphie die „Zone" oder der „Horizont".

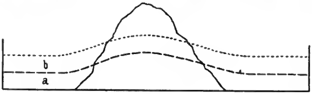
Benecke hat in seinem letzten großen Werk[1]) über die Eisenerzformation Elsaß-Lothringens eine ausgezeichnete Zusammenstellung des Begriffs „Zone" und seinen inhaltlichen Wandlungen, denen er im Laufe der Zeit mit fortschreitendem Wissen unterlag, gegeben, woraus wir im Folgenden einiges entnehmen. Es ist auch bei diesem, wie bei allen nicht dogmatischen, sondern aus wissenschaftlicher Teilerkenntnis erwachsenen und daher meist konventionell gebrauchten Begriffen, nicht so leicht, eine präzise Definition zu geben. Hier kommt speziell erschwerend noch hinzu, daß der Schöpfer des Ausdrucks „Zone", Oppel, ihn selbst vom ersten Augenblick an gar nicht konsequent anwendete. In dem bekannten Buche „Die Juraformation"[2]) versucht er, für jede Schichtserie mit einer neuen bzw. abgeänderten Fauna eine einzige Fossilform namhaft zu machen, nach dem die Zone benannt und wiedererkannt werden könne. Die an ein solches Leitfossil zu stellenden Anforderungen waren: Kurzlebigkeit und große horizontale Verbreitung. Das ließ sich für Franken, wie für die benach-

1) Benecke, E. W., Die Versteinerungen der Eisenerzformation von Deutsch-Lothringen und Luxemburg. Abh. d. geol. Spez.-Karte von Elsaß-Lothringen. N. F. Heft VI, Straßburg 1905, S. 496 ff.

2) Oppel, A., Die Juraformation Englands, Frankreichs und des südwestlichen Deutschlands. Stuttgart 1856—1858.

barten schwäbischen Gegenden nur im Lias leicht durchführen; aber da sich Oppel nicht um den Fazieswechsel, wie er gerade im Malm mit seinen Korallen- und Schwammriffen herrscht, gekümmert hatte, versagten dort seine Leitformen vielfach und so konnte v. Seebach mit Recht darauf hinweisen[1]), daß ein und dasselbe Fossil in relativ geringer Horizontalentfernung schon eine ganz andere vertikale Verbreitung besitzen kann.

Eine einfache Überlegung läßt das selbstverständlich erscheinen: Wenn in mehreren aufeinanderfolgenden geologischen Zeitenstufen auf flachem Meeresboden relativ träge benthonische Tierformen lebten und ihre Schalen an Ort und Stelle im Sediment fossil wurden, so lassen sich die betreffenden Schichten heutzutage sehr leicht mit einem einzigen Leitfossil bezeichnen. Ist aber in der Nähe eine Riffbildung vorhanden, die sich um einen gewissen Betrag über den Meeresboden erhebt und womöglich zur Ebbezeit zum Teil noch über den Wasserspiegel hervorragte, so wird sich dort in der ersten Zeit *a* (Fig. 55) eine Fauna



Figur 55.

tummeln, deren Schalen am Riff selbst fossil werden können und zwar auch in einem orographisch höheren Niveau, welches der Lage der in einer folgenden geologischen Zeit entstandenen Schicht *b* außerhalb des Riffes entspricht. Die zur Zeit der Ablagerung von *b* lebenden Formen werden aber in gleicher Weise am Riff selbst fossil werden können und dann mit Schalen der Zeit *a* unmittelbar vermischt vorkommen. So sind also in einiger Entfernung links und rechts vom Riff leicht einzelne Formen der *a*-Zeit als Leitfossilien zu verwerten, die in der Riffgegend in mehreren „Horizonten" auftreten[2]). Solche Verhältnisse sind im fränkischen und schwäbischen Jura geradezu typisch und Seebach hatte daher Oppel gegenüber ganz recht, wenn er betonte, daß Leitfossilien nur von ganz lokaler Bedeutung seien; habe man es mit weiteren Entfernungen zu tun, dann führten nur stets wiederholte Vergleiche ganzer Faunen zum Ziele.

Benecke, der diese ganze Entwicklung der Stratigraphie noch miterlebt hat, weist darauf hin, daß jene ersten Oppel'schen Versuche ja noch in die vordeszendenztheoretische Zeit fielen. Oppel konnte daher, prinzipiell wenigstens, immer noch glauben, er habe mit seiner Zoneneinteilung lokal scharf abgegrenzte Zeitabschnitte kleinster geologischer Einheit gewonnen, und das eben ist es ja, was die moderne Stratigraphie und Paläogeographie noch ebenso eifrig sucht, wie die Alten.

1) Seebach, K. v., Der Hannoversche Jura, Berlin 1864, S. 2.

2) Natürlich ist abzusehen von Fällen, wo etwa sekundär ein Riff Senkungen erfährt und rein mechanisch so in einen tieferen Horizont gerät. Vgl. hierzu den von G. Wagner (Beiträge z. Kenntnis d. oberen Hauptmuschelkalkes in Elsaß-Lothringen. Centralbl. f. Mineral. etc., Stuttgart 1913, S. 558) angeführten Fall.

DARWIN's Werk brachte auch hier neue Gesichtspunkte, denen WAAGEN nachging in seiner Abhandlung über den Ammonites subradiatus[1]), dessen stammesgeschichtliche Abänderungen er durch Dogger und Malm verfolgte und hierbei den Begriff „Mutation" schuf, welcher konstante, wenn auch geringfügige Formverschiedenheiten von Stufe zu Stufe bedeutet, im Gegensatze zur Variabilität, d. i. Abänderung einer Art im horizontalen Sinne. NEUMAYR verschmolz den neuen WAAGEN'schen Begriff mit dem der „Zone" und formulierte den Satz, daß die Lebensdauer einer Mutation gleich sei der Dauer einer OPPEL' schen Zone[2]).

Zwar schien damit zum erstenmal eine präzise Definition des Zonenbegriffes gegeben, aber das brachte auch die weitere Frage mit sich, ob denn die Aufeinanderfolge der Mutationen auch wirklich gleiche Zeitintervallen bedeutet, d. h. ob alle als Leitfossilien in Betracht kommenden Gruppen gleich rasch abänderten. Das ist aber ganz unwahrscheinlich, denn wir wissen auf's allerbestimmteste, daß z. B. die Säugetiere ungemein rasch abänderten, ebenso die Ammoniten, daß dagegen die Muscheln außerordentlich persistent sind, und daß die Gastropoden mit dem Tempo ihrer Umprägung zwischen beiden stehen. Das wußte man auch damals schon, als der Zonenbegriff geprägt wurde, und deshalb wählte man für das Mesozoikum, von wo die Diskussion der Frage ausging, möglichst „kurzlebige" Tiere, die Ammoniten, um eine tunlichst detaillierte Zoneneinteilung zu bekommen. Auch heute noch geht unser Bestreben dahin, und so kommt es, daß man im allgemeinen die Formationen nicht nach den Muscheln zu gliedern sucht, die wohl nur ausnahmsweise — Avicula contorta im Rhät — gute Leitfossilien abgeben.

Aber aus dem Begriff „kurzlebig" erwachsen doch auch Schwierigkeiten, die einer Klärung bedürfen, denn Kurzlebigkeit der fossilen Formen kann auf einem falschen Schein beruhen. Es sind folgende Fälle möglich:

1. Eine aus irgend welchem Grund kurz zuvor erschienene Form stirbt alsbald wieder, ohne Nachkommen zu hinterlassen, aus.
2. Eine Form wandelt sich rasch in eine neue um (WAAGEN's Mutationsbegriff).
3. Eine Form erscheint lokal kurzlebig, weil sie zu einem Schwarm gehörte, der aus dem eigentlichen Heimatsmeere in irgend ein Becken einmal nur eingewandert ist, sich dort aber weder endgültig vermehrte, noch Nachschub erhielt.
4. Die normale Schichtfolge wurde durch irgend ein früheres oder späteres geologisches Ereignis unterbrochen und darum wird in der betreffenden Gegend eine Tierform nur in einem beschränkten Horizont gefunden.
5. Eine ganze Fauna wandert mit der petrographisch-sedimentären Fazies infolge von Hebungen oder Senkungen.

Nach BARRANDE kann das Auftreten einer Tierform in einem bestimmten stratigraphischen Niveau vier Ursachen haben[3]): Sie war

1) WAAGEN, W., Die Formenreihe des Ammonites subradiatus. BENECKES Geognost.-Paläont. Beitr., Bd. II, München 1869, S. 1ff.

2) NEUMAYR, M., Über unvermittelt auftretende Cephalopodentypen im Jura Mitteleuropas. Jahrb. k. k. Geol. Reichsanst., Bd. 28, Wien 1878, S. 40.

3) Näheres hierüber in der soeben zitierten Abhandlung von NEUMAYR, S. 70ff.

Digitized by Google

entweder in einem früheren Horizonte schon vorhanden und geht unverändert in den nächsten über (Propagation); oder sie hat sich aus einem an Ort und Stelle vorher schon vorhandenen Typ entwickelt (Filiation); oder sie ist von anderswoher eingewandert (Migration); kommt keiner der vorhergenannten Gründe, sondern ein vierter, unbekannter in Betracht, so spricht Barrande von Novation. Es müßte also, wollte man ein zuverlässiges relatives Zeitmaß für die Erdgeschichte nach der paläontologisch-stratigraphischen Methode gewinnen, von jedem Leitfossil erst einmal festgestellt werden, wo es autochthon, wo es eingewandert ist, ob seine „Lebensdauer“ überall gleich, ob sein Erscheinen und Verschwinden das Resultat entwicklungsgeschichtlichen Entstehens und Vergehens bezw. Abänderns ist, oder ob schließlich mehrere dieser Gesichtspunkte zusammentreffen usw. — ein Unternehmen, das Barrande zum erstenmal für das Silur, Neumayr für die Jurazeit durchzuführen versucht hat, das auch Detailresultate zu liefern imstande ist, das aber noch lange nicht weit genug ausgedehnt worden ist, um heute schon eine exaktere relative stratigraphische Chronologie möglich zu machen.

Was ist eine Art? Was ist spezifische Identität? Wonach kann man zwei Formen aus weitentfernten Gegenden identifizieren? Inwieweit können heterogene Stammlinien durch konvergente Schaffung gleichartiger Endformen uns spezifische und damit stratigraphische Identitäten und Zusammenhänge vortäuschen? Inwieweit rufen gleiche Faziesverhältnisse, gleiches Milieu in verschiedenen oder gleichen Zeiten dieselben äußeren Formerscheinungen hervor? Diese und die zuvor erörterten Fragen nach dem Erscheinen und Verschwinden der Formen, die alle beantwortet sein müssen, wenn wir eine exakte Stratigraphie haben wollen, zeigen uns, wie kompliziert die Gewinnung eines relativen Zeitmaßes für die Erdgeschichte ist und zeigen uns, wie innig hier Paläogeographie mit Zoologie, Biologie und Entwicklungslehre verknüpft ist, und wie sie von der Vertiefung jener Wissenschaften geradezu abhängt. Andrerseits wird die Stratigraphie und Paläogeographie auch selbst zur Beleuchtung, Förderung und endlichen Lösung dieser Fragen beitragen können, wenn sie, von den bis jetzt vertretbaren Voraussetzungen ausgehend, ihrerseits die Lösung der ihr gestellten Aufgaben versucht.

Seebach hatte also, wie der Verlauf bis zum heutigen Tage zeigt, zweifellos recht, wenn er von Anfang an gegen die Oppel'sche Zoneneinteilung nach einem einzigen Leitfossil prinzipiell Front machte und den Vergleich ganzer Faunen empfahl, wodurch Irrtümer, zu denen das einzelne Fossil Anlaß geben kann, sich von selbst kompensieren. Das hat sich praktisch bis jetzt bewährt, und niemand wird es mehr einfallen, die Altersbestimmung fremdländischer Vorkommen mit einem Fossil durchführen zu wollen, wenn die Fauna als Ganzes einer Analyse zugängig ist. Man wird die faziellen-biologischen und stammesgeschichtlichen Verhältnisse der Fauna und ihrer einzelnen Elemente soweit wie möglich prüfen und danach erst die Alterseinreihung des Horizontes vornehmen. Dabei kommt uns zustatten, daß die sogenannten Speziesunterscheidungen heutzutage so minutiös sind, daß ein mehr als reichliches Vergleichsmaterial vorliegt, daß gerade deshalb Zonenleitfossilien über weitere Strecken hinweg nur noch in den allerseltensten Fällen zu konstatieren sind und daß man darum ganz von selbst zum Vergleich der ganzen Faunen greifen muß. Zu beachten ist aber, daß wir

trotzdem konventionell doch noch von Zonen reden, die wir mit einem Leitfossil bezeichnen und beispielsweise sagen: in Ostafrika haben wir die Zone des Peltoceras transversarium, was nichts anderes heißen soll als: wir haben dort eine Jurastufe, deren Fossilinhalt so ist, daß wir sie für ein Zeitäquivalent jener Fauna bezw. Stufe halten müssen, in der bei uns Peltoceras transversarium liegt; dies sagen wir auch dann, wenn in dem betreffenden afrikanischen Vorkommen das „Leitfossil" Peltoceras transversarium selbst fehlt oder nur durch eine vikariierende mehr oder minder verwandte Art ersetzt ist.

Praktisch halten wir also tatsächlich an der Oppel'schen Zone fest, nur greift neuerdings nebenher die Methode um sich, Schichten und Stufen mit Lokalnamen zu bezeichnen, was indessen am Begriff nichts ändert, sondern nur nomenklatorische Bedeutung hat, da ja doch immer der Fossilinhalt das Mittel zur Parallelisierung ist und bleibt. Benecke behält also Recht, wenn er die Zone dahin definiert[1]), daß sie die geographische Verbreitung und die Dauer des Auftretens einer Form bedeutet; nur muß man die Definition dahin kommentieren, daß die Form nicht anwesend sein muß in allen Schichten, die man in fernen Gegenden mit der betreffenden „Zone" parallelisiert.

Damit kommen wir zu einem Begriff, den Buckman aufstellte[2]), in dessen Geheimnis ich aber nicht recht eindringen kann. Der Zonenbegriff ist ihm — wohl mißverständlicherweise — zu tiergeographisch gefaßt, wir brauchen eine ausgesprochene kleinste Zeiteinheit, und diese gewinnt er aus der Feststellung der Entwicklungshöhepunkte einer oder mehrerer Spezies. Von einem solchen Entwicklungshöhepunkt zum anderen ist ein geologischer „Tag", eine „Hemera" vergangen, und Hemera ist ihm die stratigraphische Zeiteinheit. Wie in der Zeit König Eduards VII. in allen Weltgegenden sich etwas zugetragen habe und diese Ereignisse daher in späteren Zeiten sozusagen nach diesem als einem „Leitfossil" eingeteilt bezw. zeitlich charakterisiert werden können, wenn auch der König nur in England lebte, so falle auch überall auf der Erde in die Hemera Murchisonae irgend etwas hinein, auch ohne daß das „Leitfossil" überall auftritt. Einerlei also, ob diese Art überall auf Erden erscheint oder nur lokal beschränkt lebte, vermittele sie einen Zeitbegriff, wie ein historisches Ereignis auch für die Länder, in denen es sich nicht abspielte, eine Zeitbestimmung ermöglicht. „Hemera Murchisonae" wäre also auf der ganzen Erde jede Ablagerung, die in die Zeit der bei uns sich vollziehenden Ablagerung des Horizontes mit Harpoceras Murchisonae fällt, auch wenn irgendwo anders diese Spezies nicht vorkommt. Ich weiß nicht — vorausgesetzt, daß ich Buckman richtig verstanden habe — was da mit Hemera, gegenüber unserem alten Begriff Zone, gewonnen sein soll? Vollends nicht, wenn es an anderer Stelle heißt: wie ein Tag die Zeit von einem Sonnenaufgange zum nächsten bedeute, so Hemera die Zeit vom Erscheinen einer Spezies bis zu ihrem Untergang bezw. bis zum Erscheinen einer neuen an ihrer Stelle. Der Höhepunkt der Sonne ist aber etwas anderes als der Aufgang, und es wird überhaupt schwierig sein, den Entwicklungshöhepunkt einer Art so präzise festzustellen, wie es ein so minutiöser Zeitbegriff braucht. Buck-

1) Benecke, W., Eisenerzformation, a. a. O. S. 531.

2) Buckmann, S. S., The term „Hemera". Geol. Magaz., Dec. IV, Vol. 9, London 1902, S. 554; ibid., Vol, 10, 1903, S. 95 etc. Genaueres noch in der auf S. 281 zitierten Abhandlung von Pompeckj, S. 36 ff.

Digitized by Google

MAN wird uns also mit widerspruchsvollen und wohl auch überflüssigen Definitionen den alten Zonenbegriff nicht ersetzen können.

§4. Zusammenfassung und Ausblick.

Die einer faunistischen Festlegung der Zeiteinheit anhaftenden Mängel und die aus den Sedimentberechnungen stets sich ergebenden Ungewißheiten wurden natürlich stets empfunden[1]), und so sehen wir schon frühzeitig den Gedanken auftauchen, mit Hilfe astronomischer Vorgänge und ihrer eventuellen Wechselbeziehungen zu geologischen Erscheinungen den erdgeschichtlichen Zeitenwechsel exakter zu fassen. Da die einzelnen Schichtverbände mit ihrem wechselnden petrographischen Charakter die unmittelbaren Repräsentanten dieses Zeitenwechsels sind, so verdichtete sich das Problem ohne weiteres zu der Frage: Liegt in der Art der Aufeinanderfolge, bezw. in der petrographisch-faziellen Abwechslung der Schichtsysteme irgend ein Anzeichen von Rhythmus oder wenigstens Periodizität, das sich vielleicht mit den bekannten astronomischen Rhythmen in Beziehung bringen ließe? Einen derartigen Versuch machte BLYTT, wie S. 115f. gezeigt wurde.

Alle geologischen Vorgänge, ganz besonders aber der Absatz von Sedimenten, sind niemals die Funktion eines einzigen einheitlichen Zustandes, sondern es arbeiten dabei so unendlich viele gleichwertige und ungleichwertige — in diesem Sinne „zufällige" — Faktoren ineinander hinein, teils sich unterstützend, teils sich hemmend oder mit einander interferierend, daß man es von vorneherein geradezu zu einem Forschungsgrundsatz für den Paläogeographen machen muß, ja nicht astronomische Vorgänge unmittelbar zu geologischen in Beziehung zu setzen und jedenfalls nicht alle Einzelheiten in ein durch astronomische Berechnungen gewonnenes Schema hineinpressen zu wollen. Es ist, wie KOKEN einmal mit Recht sagt, der wunde Punkt aller dieser Spekulationen, daß sie einen Dualismus in die Wissenschaft einführen und nur allzuleicht den Wert der positiven Beobachtungen in die zweite Stelle herunterdrücken. Aber es ist klar, — und das ist der Hauptgrund, weshalb ich diese Gedankengänge vortrage: wenn es einen Weg gibt, auf dem wir einmal zu einer richtigen Abschätzung großer geologischer Zeiträume gelangen können, dann wird es voraussichtlich nur der sein, astronomische Daten mit markanten erdgeschichtlichen Erscheinungen zu verknüpfen.

„Der einzige Weg, welcher für ältere geologische Zeiten gangbar ist, wäre der, festzustellen, ob die periodische Wiederkehr gewisser Erscheinungen, wie der Gebirgsbildung, der Eiszeiten u. a. m. mit astronomischen Tatsachen in Einklang zu bringen ist", sagt ANDRÉE. Dieser Weg muß versuchsweise immer wieder begangen werden, auch wenn er jetzt noch so schwierig ist und zunächst noch wenig Aussicht bietet. Freilich ist es nicht ausgeschlossen, daß er erst dahin führt, aus geologisch-tektonischen Befunden die Astronomie auf größere kosmische Veränderungen aufmerksam zu machen, die sie an und für sich nicht erkennen könnte, und daß dann erst auf diesem Umwege die Geologie wieder verläßlichere Anhaltspunkte zu einer exakten Zeitberechnung erhielte.

1) Vgl. hierzu die übersichtliche Zusammenstellung von: SCHUCHERT, CH., The delimitation of the geologic periods illustrated by the paleogeography of North America. Adv. Copy des Compt. rend. XII. Congr. géol. intern. Canada 1912, S. 3ff.

Wir wissen, meint Willis[1]), daß Disturbation und Ruhe, Erosion und Sedimentation, Einheitlichkeit der Schichtfolge und Diskordanzen sich zu jeder Zeit abgespielt haben und daß daher nur aus großen, weltumspannenden, einheitlich auftretenden Diastrophismen eine universell gültige Hauptgliederung der Erdgeschichte vorgenommen werden kann und daß die kleineren lokalen Bewegungen — er nennt sie epizyklische — nur für eine lokale Zeiteinteilung Wert haben. Jedenfalls eine Aufeinanderfolge ungleicher Effekte ist es also, auf die sich überhaupt geologische Chronologie gründet. Ein Diastrophismus ist das Anfangsglied einer Ära. Zuerst eine rein epirogenetische oder dabei noch eine orogenetische Erhebung. Dann folgt Abtragung und entsprechend Sedimentation. Diastrophismus ist also der Ausgangspunkt, die notwendige Voraussetzung aller Korrelation. Aber je stärker der Diastrophismus, umso geringer seine räumliche Ausdehnung, wie man an der Gebirgsbildung sieht. Der Wert des Diastrophismus für eine Zeiteinteilung hängt also nicht so sehr von seiner Intensität, als von seiner universellen Verbreitung ab. Diastrophismen auf Festlandsarealen sind aber stets beschränkt auf gewisse dynamische Provinzen und daher nicht zu einer universellen chronologischen Gliederung brauchbar. Anders der die ozeanischen Gebiete betreffende. Obwohl deren Diastrophismen auch mehr oder weniger lokal sind, reicht ihre Wirkung dennoch weltweit, da nach dem Gesetze der kommunizierenden Behälter eine submarine Bodenbewegung den Wasserstand überall verändern muß. Kein anderes Phänomen macht sich daher so gleichzeitig und gleichartig überall geltend. Wenn etwa eine tiefe Einsenkung in ozeanischem Areal stattfindet, dann wird eine universelle Ebbe-Erscheinung in allen marinen Epikontinentalgebieten eintreten, deren Kennzeichen flache Insel- und Küstenregionen sind, bedeckt mit den eben abgelagerten Sedimenten, schwache Erosion und, in bezug auf spätere Schichten, schwache Inkonformität ohne wesentliche tektonische Störung.

Gegen diese theoretisch gewiß sehr richtige Vorstellung ist hinsichtlich einer praktisch daraus abzuleitenden geologischen Zeiteinteilung jedoch einzuwenden, was auch Willis schon in Betracht zieht: daß eben der Generaleffekt dieser ganzen Erscheinung maskiert werden kann, wenn gleichzeitig mit den rein marinen Diastrophismen auch kontinentale Hand in Hand gehen, was nicht als „Ausnahme", sondern wohl als Regel anzusehen ist. Allerdings ist es denkbar, daß erdgeschichtliche Augenblicke eintreten, in denen die Kontinentaloberflächen alle stark abgetragen und sehr flach sind und daß sich dann Trans- oder Regressionen in epikontinentalen Gebieten immerhin so universell bemerkbar machen können, daß die Ausnahmsregionen dagegen sehr zurücktreten. Aber ob das so oft eintritt, daß sich darauf nicht nur eine gelegentliche, sondern eine durchgehende Zeiteinteilung in Zukunft wird gründen lassen, das ist mehr als zweifelhaft, und die auf Fossilien gegründete stratigraphische Chronologie wird daher dauernd ihr Recht behaupten.

Steinmann unterscheidet[2]) geokratische und thalattokratische Epochen in dem Sinne, daß in den geokratischen Epochen die Meere im wesentlichen mit den heutigen Meeresarealen zusammenfielen, so

1) Willis, B., Principles of Paleogeography. Science, Vol. XXXI, S. 254—256.
2) Steinmann, G., Die kambrische Fauna im Rahmen der organischen Gesamtentwicklung. Geol. Rundschau, Bd. I, Leipzig 1910. S. 79.

Google

daß wir aus diesen Zeiten im Gebiete unserer heutigen Länder vorzugsweise Landablagerungen antreffen, während in thalattokratischen Zeiten unsere jetzigen Landareale hauptsächlich von Meer bedeckt waren. Ein Beispiel für geokratische Zeiten ist die untere Trias, von der wir bis jetzt nur an recht wenigen Stellen ausgeprägt marine Schichten kennen, während dagegen der mittlere Jura in ausgesprochen mariner Entwicklung aus fast allen Weltgegenden bekannt ist. Drei große thalattokratische Phasen nimmt STEINMANN an: die erste fällt in das Algonkium, die zweite umfaßt Silur, Devon, Altkarbon, die dritte das jüngere Mesozoikum vom Jura an bis in's Tertiär. Dazwischen liegen die geokratischen Epochen des Kambriums, die des Oberkarbon-Jura, dann die tertiär-jetztweltliche. Vergleicht man diese Einteilung mit jener von WILLIS (vgl. S. 254) auf Grund der Diastrophismen und Gebirgsbildungen gegebenen, so sieht man, daß beide Einteilungen keineswegs kongruieren, obwohl man doch meinen sollte, daß die Abwechslung zwischen dem geokratischen und thalattokratischen Habitus der Erdoberfläche in unmittelbarem Zusammenhange mit den großen tektonischen Bewegungen der Erdrinde, insbesondere mit der Gebirgsbildung stünde. Es gewinnt dadurch die oben (S. 169) besprochene WILLIS'sche Vorstellung wieder an Bedeutung, wonach die umfassenden Trans- und Regressionen — also der Eintritt thalattokratischer und geokratischer Epochen — auf einer Eigenbewegung der ozeanischen Böden in erster Linie beruhe, ganz einerlei ob epirogenetische oder orogenetische Bewegungen auf den Kontinentalflächen gelegentlich diesen Vorgang verstärken oder verwischen.

Ob diese ozeanischen Eigenbewegungen existieren und Anlaß zu weitgehenden Trans- und Regressionen gewesen sind, ist noch ungewiß. Andrerseits kennen wir ja eine analoge Erscheinung, die schon S. 124 ff. besprochen wurde und die ihren prägnantesten Ausdruck im HAUG'schen Geosynklinalgesetz gefunden hat. Danach besteht eine unverkennbare Wechselwirkung zwischen der Vertiefung gewisser Meeresareale und dem Rückzug des Wassers aus anderen Regionen; allerdings gilt dies vorerst nur für Epikontinentalmeere. Aber wir können Profile nehmen, welche wir wollen, Diskordanzen verfolgen, soweit sie sichtbar sind, niemals finden wir, daß Profile oder Diskordanzen auf der Erde gleichmäßig entwickelt sind und sich etwa in dem Sinne auf einander beziehen ließen, wie es notwendig wäre, wenn man aus ihnen eine universell gültige Chronologie ableiten wollte. Sie zeigen auch nirgends eine so regelmäßige Periodizität, daß die darin zum Ausdruck kommenden Zyklen irgendwie als Chronometer verwendbar wären. So kann man also auch nicht erwarten, daß sich weltweite Diastrophismen mit astronomischen Periodizitäten unbedingt koinzidierend fänden. Wohl aber, und hier liegt der berechtigte Punkt aller der im Vorstehenden besprochenen Ideen, ist zu erwarten, daß eine gewisse Häufung von Störungen, gewisse *im allgemeinen* unruhige Zeiten mit astronomischen Konstellationen mehr oder minder genau zusammenfallen, falls überhaupt Bewegungen der Kruste von solchen veranlaßt sind.

Es bleibt aber noch eine Zukunftsmöglichkeit übrig, im Kleinen auch den Zonen- und Stufenbegriff mit einer absoluten Zeitvorstellung in Verbindung zu bringen. Es entwickelt sich nämlich in der Zoologie, in der Vererbungslehre seit mehreren Jahren, also seit die Erkenntnis der Gesetze der Vererbung zunimmt. die Vorstellung, daß

sowohl die Erblichkeit, wie die phyletische Umwandlung gewissen Periodizitäten unterworfen ist, und vielleicht beruht der ganze Vererbungsstreit auf dem Umstande, daß beides richtig und beides zeitlich bedingt ist.

Gelingt es der Zoologie, die jene Periodizität beherrschenden Gesetze festzustellen und damit zu zeitlich determinierten Kurven der Umwandlung zu gelangen, dann bekommen die Geologen vielleicht ein Mittel in die Hand, die Umwandlungszeit einer Fauna oder einzelner Formen und damit die Dauer einer Oppel'schen Zone abzuschätzen.

Auf keinen Fall darf der Begriff Zone oder Horizont mit der Dicke der Sedimente in Beziehung gebracht werden. Wir haben Horizonte und Zonen von einigen Zentimetern oder Dezimetern Mächtigkeit, wie im schwäbischen Lias, und andrerseits Zonen von 50—100 m Mächtigkeit, wie etwa in den Alpen. Auch der petrographische Wechsel oder Nichtwechsel des Gesteins bedeutet hierbei gar nichts.

Vor einem Irrtum muß noch gewarnt werden. Je nach der Entwicklung eines Erosionszyklus spricht man im Davis'schen Sinne von einem reiferen bezw. weniger reifen „Altersstadium". Diese Ausdrucksweise ist, wie Hettner mit Recht hervorhebt, irreführend, weil eine Verwechslung mit dem geologisch-stratigraphischen Altersbegriff dabei möglich ist[1]). „In der Davis'schen Schule hat der Altersbegriff eine andere Form angenommen. Man mißt das Alter nicht an der gewöhnlichen geologischen Chronologie, die sich ja vorzugsweise auf die Entwicklung der Pflanzen- und Tierwelt stützt, sondern an dem Betrage der Umbildung, dem Charakter der Formen, der Physiognomie der Landschaft. Indem man sich überzeugte, daß der Betrag der Umbildung nicht nur von der Länge der verflossenen Zeit, sondern auch von der größeren oder geringeren Widerstandsfähigkeit der Gesteine abhängt, hörte ... der Altersbegriff auf, ein reiner Zeitbegriff zu sein, und bezeichnete den Entwicklungszustand. Nur mit einer Vergewaltigung des Wortes, die notwendigerweise Mißverständnisse ... erzeugen mußte, konnte man überhaupt an der Altersbezeichnung festhalten. Eine Zeitbestimmung wird durch sie nicht gewonnen."

1) Hettner, A., Die Abhängigkeit der Form der Landoberfläche vom inneren Bau. Geogr. Zeitschr., Jahrg. 19., Leipzig 1913, S. 443.

Digitized by Google

IX. Der Entwurf paläogeographischer Karten und ihrer Einzelheiten.

1. Allgemeine Gesichtspunkte und Aufzählung der darzustellenden Einzelheiten.

Es besteht ein gewisser Gegensatz in den Methoden, nach denen einerseits die allgemeine Ausdehnung der früheren Meeresbecken, andrerseits im speziellen deren Grenzen gegen das Festland bestimmt werden können[1]). Das erstere wird dort, wo uns — z. B. im Areal der heutigen Ozeane — keine Sedimente zur Rekonstruktion der marinen Zusammenhänge zur Verfügung stehen, mit Hilfe des Faunencharakters weit auseinanderliegender Vorkommen erreicht; das letztere dagegen erfordert positive stratigraphische Daten, also Untersuchungen an den Stellen, wo tatsächlich ehemals Land-Meeresgrenzen lagen. Der positive Nachweis von transgredierender Lagerung und Konglomeratbildungen ist hierbei das wesentliche Erkennungsmerkmal, jedoch kommt es dabei nicht nur auf die Konstatierung des Vorhandenseins solcher Sedimentationserscheinungen schlechthin an, sondern auch auf die Beobachtung über die Richtung ihres Anschwellens bezw. Auskeilens. Es liegt, wie schon S. 211 erwähnt, in der Natur der Sache, daß reine Küstenbildungen weit seltener erhalten bleiben, als solche des tieferen Wassers, weil bei der häufig eintretenden Verlegung der Strandlinie die randlichen Bildungen am ehesten der Zerstörung ausgesetzt werden, während ein Seichterwerden des Meeres noch keineswegs die Sedimentation in der Tiefe unterbricht. Wenn aber entsprechende Küstenablagerungen erhalten sind, erlauben sie mit fast mathematischer, der Triangulation moderner Landkarten entsprechender Genauigkeit, die Land-Meeresgrenze lokal anzugeben.

Ein sehr schönes Beispiel dieser Art liefert uns die Beschreibung des südandinen Jura durch Burckhardt[2]), der nachweist, daß die mächtigen oberjurassischen Porphyrkonglomerate wegen ihrer Größe und vollkommenen Rundung terrestrischen Ursprungs sind und aus der Nähe stammen müssen, und zwar von einem nicht unbedeutenden Lande, das sich nicht östlich, sondern westlich der heutigen Kordillere, also in's südpazifische Gebiet hinein, ausdehnte, weil diesen in der Nord-Südrichtung gleichbleibenden Konglomeratablagerungen weiter im Osten ein viel geringmächtigerer Sandstein und Mergel entspricht,

1) Frech, F., Lethaea palaeozoica, Vol. II, Stuttgart 1897—1902, S. 54.
2) Burckhardt, K., Traces géologiques d'un ancient continent pacifique. Revista Museo de la Plata, Tome X, 1900, S. 177 und: Beiträge zur Kenntnis der Jura- und Kreideformation der Cordillere. Palaeontographica, Bd. L, 1903/04, S. 1.

Digitized by Google

mit dem sie durch eine Übergangsfazies verbunden sind. Es läßt sich daraus auf Grund eines von BURCKHARDT gegebenen Kärtchens (Fig. 56) eine durch Konglomerate (Horizontalstriche) bezeichnete südpazifische Küstenzone und eine östliche brasilische Sandstrandzone (Vertikalstriche) nachweisen.

Im Gegensatz zu diesem exakten Verfahren steht dann die Konstruktion einer Meeresverbindung zur Oberjurazeit von den südamerikanischen Anden herüber nach Europa, die wir als gegeben annehmen, aber nicht etwa, weil wir von oberjurassischen Sedimenten im Atlantischen Ozean etwas wüßten, sondern weil uns die zum Teil gleichartige faunistische Zusammensetzung beider Jurabecken eine solche Annahme nahelegt; dabei bleibt es unserem von anderweitigen Gesichtspunkten mehr oder minder bestimmt determinierten Ermessen anheimgestellt, welche größere oder geringere Ausdehnung nach Nord und Süd wir diesem Meeresarme geben wollen. Je nach der Auffassung, die man von der Identität oder nahen Verwandtschaft der Formen einzelner europäischer Becken, mit denen der südamerikanischen Kordilleren hat, wird man diesem Meeresarm seine Richtung erteilen. Im Lias der Anden kommt z. B.

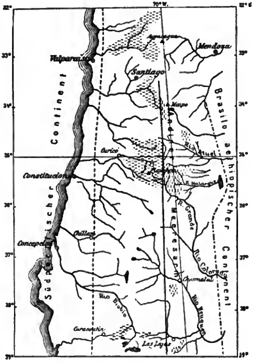


Fig. 56.

eine außerordentlich charakteristische Pectinidengattung mit einer flachen und einer gewölbten Klappe vor, die wir nur im Lias der Pyrenäenhalbinsel wiederfinden; man wird daher das Verbindungsmeer über Spanien nach Mitteleuropa eindringen lassen. Das Meer darf aber, so schließt man wohl weiter, nicht zu tief gewesen sein, denn Pectiniden leben am Boden der Flachsee.

Das ist die Art, wie man die tiergeographische Methode anwendet, wenn man auf dem von uns nicht unbedingt geteilten Standpunkte steht, daß ein Typus nur an einer Stelle der Erde autochthon sein kann, an den übrigen aber zugewandert ist. Schon daß die Larven von solchen

Marintieren durch nektonisches oder planktonisches Ausschwärmen unabhängig von der Meerestiefe sind, wird bei solchen tiergeographischen Betrachtungen kaum je berücksichtigt, wirft aber schon die Hälfte der Konstruktionen über den Haufen. Man sieht hieraus den ganzen Kontrast in der Exaktheit der stratigraphisch-petrographischen und der tiergeographischen Methode. Dagegen wird man andrerseits aus der Tatsache, daß der marine Jura, speziell der Lias selbst, auf der iberischen Halbinsel, z. B. nördlich von Lissabon unmittelbar am Meere abbricht, mit Recht schließen dürfen, daß das Jurameer sich von dort noch ein Stück weit westwärts erstreckt haben muß.

Positive Anzeichen für Meer bestehen also nur in dem Vorkommen einschlägiger Schichten und in zweiter Linie in der Identität von Faunen, während danach die positiven Anzeichen für Vorhandensein von Land etwas zahlreicher sind. Denn die Landnähe läßt sich schon aus dem Auftreten von Konglomeraten in Marinsedimenten mit großer Sicherheit feststellen, wie das Beispiel der jurassischen Porphyrkonglomerate Südamerikas zeigt; sie läßt sich weiter feststellen, aus der Anwesenheit von Deltabildungen, die ja eigentlich auch noch zu den Marinsedimenten gehören, während wir in dem Vorkommen einzelner Landpflanzen und Landtiere schlechthin kein Anzeichen für unmittelbare Landnähe erblicken dürfen, weil diese ja viele Meilen weit in's Meer hinausgetrieben werden können. Auch einzelne Glazialblöcke sind in dieser Beziehung mit Vorsicht aufzunehmen, weil auch sie, wie S. 219 erwähnt wurde, mit triftenden Eisbergen in Regionen gelangen können, die weit seitab vom Lande liegen. Weitere positive Anzeichen von Land und Landnähe sind Brackwasserablagerungen, und dann vor allem die ausgesprochenen Landablagerungen selbst, also Sandsteine mit Kreuzschichtung, Sedimente mit autochthonen Kohlen und Baumstümpfen, fossile Regentropfen und tierische Fußspuren, Glazialablagerungen, Süßwasserbildungen. Auch Abrasionsflächen über gefalteten oder wenigstens tektonisch stark gestörten älteren Schichten lassen ganz genau die Zeit, da an dieser Stelle Festland war, dann konstatieren, wenn auf der Abrasionsfläche ein Sediment lagert, das nur um eine Zeitstufe verschieden ist von dem noch in dem abradierten Stumpf mit eingefalteten oder mitgestörten nächst älteren. So die Überlagerung gefalteter karbonischer Sedimente in Mitteldeutschland durch nichtgefaltete Permschichten, die über dem abradierten Karbongebirge liegen; oder die Transgression der Tithon-Berriasschichten der nordamerikanischen Knoxville-Serie über gestörtem westamerikanischem Kimeridge. Auch lassen sich aus dem Verlaufe alter Gebirgsfalten, d. h. aus ihrem Streichen, Anhaltspunkte für die Fortsetzung ehemaligen Festlandes in heute ozeanischen Regionen gewinnen. Wenn wir beispielsweise die armorikanischen Gebirgszüge der Steinkohlenzeit an der französischen Westküste in der Bretagne plötzlich am Meere abschneiden sehen, so werden wir mit einem ziemlichen Grad von Gewißheit ein ehemaliges westwärtsiges Weiterstreichen in das Atlantische Gebiet hinein folgern müssen. Daß schließlich terrestre Tiergesellschaften, aus deren Vorkommen mit Sicherheit auf ein Leben an Ort und Stelle geschlossen werden darf (Iguanodonten Belgiens), so gut unmittelbar beweisend für Land sind, wie die in marinen Sedimenten eingebetteten für Meer, ist selbstverständlich.

In der Paläogeographie können wir nicht so minutiös, wie auf der rezenten Planetenoherfläche, die einzelnen Tiefenzonen der Meere stets unterscheiden. Wir sind nicht, wie die Ozeanographie, in der Lage, mit dem Senklot die Regionen zu vermessen, und werden uns darum meistens mit der Erkennung von drei Hauptzonen bescheiden müssen: Küste, Flachwasser und Tiefenwasser, ohne oft sagen zu können, welcher Art in geomorphologischer Beziehung die Region war, in der wir etwa ein „Tiefenwasser" konstatieren.

Man kann die Bezeichnungen „litoral", „neritisch" und „hathyal" anwenden und sich dahei bewußt hleihen, daß hiermit nur allgemeinere Vorstellungen verhunden werden. Unter litoralen Ahlagerungen verstehen wir die aus unmittelharster Küstennähe, unter neritischen die aus dem hewegten, oder wenigstens lichtdurchleuchteten Wasser, und unter hathyalen alle ührigen. Diese Ausdrücke decken sich trotz ihrer Unbestimmtheit keineswegs mit einem von Fuchs in früherer Zeit rein theoretisch entwickelten Schema[1]), in dem er die „Tiefsee" schon oberhalh des Schelfrandes heginnen ließ, charakterisiert durch die „Hochseefauna", die in der stratigraphischen Literatur so viel Durcheinander angerichtet hat. Unter hathyalen Sedimenten können gelegentlich auch solche verstanden werden, welche ihrem petrographischen Charakter und faunistischen Inhalte nach heutzutage tieferen, vom Lande her kaum irritierten Ablagerungen in Schelfrinnen entsprechen. Bei der folgenden Betrachtung über vorweltliche Tiefseesedimente werden wir sehen, welchen Schwierigkeiten die Deutung fossiler Ahlagerungen in dieser Hinsicht begegnet, und man muß Andrée vollkommen heistimmen, wenn er unter Anlehnung an eine Bemerkung Frech's vor Angahe von Tiefenzahlen aus dem Charakter vorweltlieher Sedimente entschieden warnt[2]). Es ist auch die von ihm hetonte Möglichkeit im Auge zu hehalten, daß die Verteilung von Wasser und Land in den dem Geologen heute zugänglichen Teilen der Erdoberfläche gleichmäßiger war, so daß trotz Vorhandenseins hedeutender Tiefen, eupelagische Tiefseesedimente wegen der terrestren Beeinflussung der Ahlagerungshecken praktisch gar nicht zur Entwicklung kommen konnten. Ich hahe weiter oben im Kapitel über die Permanenz der Ozeane (S. 177) auch den Gedanken aufgeworfen, ob nicht die ausgesprochene Herausarbeitung des Kontinentalahfalles unterhalh der Schelfzone erst in sehr später Zeit stattfand, und daß uns deshalh in den Ablagerungen der Vorzeit keine so große Gegensätzlichkeit der Schelf- und der Tiefenablagerungen entgegentritt, weil die Übergänge zu allmählich waren und die Tiefengebiete permanent gehliehen sind. Wir kennen nämlich aus älterer Zeit zweifellose Fälle, in denen Landregionen an Stellen heutiger großer Tiefen liegen, aher der umgekehrte Fall ist uns — mit Ausnahme gewisser, sehr junger Vorkommen (vgl. S. 214) — noch nicht einwandfrei hekannt geworden.

Findet man in einer Ahlagerung, wie dem deutschen Muschelkalk oder den mitteltriassischen alpinen Pachycardientuffen, womöglich nicht nur vereinzelt, sondern häufiger Molluskenschalen mit erhaltenen Farben, dann allerdings kann man daraus aufs bestimmteste eine Maxi-

1) Fuchs, Th., Welche Ablagerungen haben wir als Tiefseebildungen zu betrachten? N. Jahrb. f. Mineral. etc., Beil.-Bd. II, Stuttgart 1884, S. 487—583.

2) Andrée, K., Über stetige und unterbrochene Meeressedimentation, ihre Ursachen, sowie über deren Bedeutung für die Stratigraphie. N. Jahrb. f. Mineral. etc., Beil.-Bd. XXV, Stuttgart 1908, S. 378.

maltiefe, in der die Tiere lebten und die Sedimente sich bildeten, angeben. Denn das Licht geht nur bis etwa 350 m hinab, und nur wo der Meeresgrund noch hell erleuchtet ist, haben Farben, insbesondere lebhafte Farben, Sinn und Bedeutung. Schwache eintönige Farben gehören darum innerhalb der angegebenen Grenze einer größeren, lebhafte, wie sie etwa HOERNES aus dem Jungtertiär des Wiener Beckens in Masse beschreibt, einer sehr geringen Tiefe an. Zugleich kann man, da die Färbung vielfach eine Schutzanpassung im mimetischen Sinne ist, aus ihnen auf die Färbung des Bodens schließen. Diesen Zusammenhang demonstrieren uns auf's beste die triassischen, von BROILI beschriebenen[1]), auf braunem Schalenuntergrund schwarz getüpfelten Naticopsiden der Seiser Alp, die auf einem im ganzen dunkel gefärbten tuffigen Boden lebten, der infolge seiner Rauhigkeit wie unruhig gesprengelt aussehen mußte, wobei die Vertiefungen wie dunkle Punkte erschienen, was sich auf diesen Schalen bodenbewohnender Schnecken deutlich ausprägt, zumal die Färbung in allen Wachstumsstadien im wesentlichen sich gleich bleibt.

Solche Minimal- und Maximalgrenzen für die Tiefe einer Meeresregion lassen sich daher gelegentlich viel leichter gewinnen, als absolute eindeutige Zahlen. So kann FISCHER für die Ablagerungstiefe des schwäbischen Jura auf durchschnittlich 200 m schätzen, und aus der Analyse der Faunen und der Gesteinscharaktere der einzelnen Horizonte entnimmt er speziellere Zahlen, z. B. 100—150 m für den Lias γ und Malm γ/δ, oder nur höchstens 50 m für den unteren Lias[2]).

Im allgemeinen wird uns ja der körperliche Habitus der Tiere, abgesehen von den Farben, jeweils gewisse Anhaltspunkte für die Tiefe geben können, in denen die betreffenden Typen lebten. Von der Aufenthaltstiefe lebender Vertreter einer Gattung auf die der fossilen zu schließen, ist allerdings nicht unter allen Umständen zulässig, weil viele Gattungen nachweislich von höheren in tiefere Regionen ausgewandert sind. Die ganze Vergesellschaftung ist da maßgebend, nicht die einzelne Form, und es kommt, wie gesagt, mehr der biologische Anpassungshabitus verschiedenster Gattungen — „Leitformen der Fazies" nennt sie FISCHER — als die systematische Identität heutiger und früherer Formen in Betracht. Gerade unter Berücksichtigung dieser Tatsache gelang dem eben genannten Autor der Nachweis, daß die meist aus hexaktinelliden Spongien bestehenden Schwammriffe des unteren Weißjura Schwabens nur in etwa 100 m Tiefe oder wenig tiefer gelebt haben, obwohl heute die Hexaktinelliden erst unterhalb der Schelfzone in ruhigem Tiefenwasser bis zu dem Abyssikum hinunter hausen. Denn die an den Malmschwammriffen herumkriechenden Tiere haben spezifisch die nächste Beziehung zu sonstigen notorischen Flachwasserfaunen des oberen Jura, und so darf man in diesem Falle nicht aus dem Vorkommen der Hexaktinelliden auf große Meerestiefen, sondern man muß umgekehrt auf einen Wechsel des Standortes dieser Gruppe seit der Oberjurazeit schließen.

---

1) BROILI, F., Die Fauna der Pachycardientuffe der Seisser Alp. Scaphopoden u. Gastropoden. (Unter Mitwirkung von A. REAN.) Paläontographica, Bd. 54, Stuttgart 1907, S. 97, Taf. VIII).

2) FISCHER, E., In welchen Meerestiefen haben sich unsere Juraschichten gebildet? Jahresber. Ver. vaterl. Naturk. Württemberg, Jahrg. 1912, Stuttgart 1912, S. CII—CXVII.

Auch indirekt, nämlich durch Trockenlegung gewisser Gebiete, wenn solche nach ihrem ganzen Charakter nicht von Deformationen des Landes selbst herrühren, lassen sich Vertiefungen anderweitiger Meere gelegentlich nachweisen. WILLIS gibt an[1]), daß in Nordamerika der Übergang vom Oberkambrium in das Untersilur an manchen Stellen charakterisiert sei durch unbeträchtliche, aber immerhin bemerkbare Zonen von Nichtablagerung bezw. schwacher Abtragung, sei es innerhalb des Wassers durch Meereströmungen oder durch subaërische leichte Denudation. Diese hier bemerkliche Abtragung aber unterscheide sich wesentlich von der, welche mit ausgesprochenen kontinentalen Deformationen Hand in Hand zu gehen pflege, und daher sieht sich WILLIS zu der Annahme gedrängt, daß diese Trockenlegung oder dieses Abströmen von Wasser herrühre von einer Vertiefung des ozeanischen Meeresbodens, wodurch eine Art Ebbe in den epikontinentalen Meeresgebieten erzeugt worden sei.

Eine andere, hier allerdings nicht weiter mehr in Betracht kommende Frage ist die, um wieviel ein Meeresboden innerhalb einer bestimmten geologischen Zeitspanne sich vertieft haben muß, um die ganze Serie der diesem Zeitraume entsprechenden Sedimente aufzunehmen. Wenn in dem soeben angezogenen Beispiele die ganze Schichtfolge des schwäbischen Jura 800 m Mächtigkeit besitzt, die Ablagerung des Lias aber mit 50 m begann, dann muß im Laufe des ganzen Jura das Niveau des liassischen Meeresbodens um 800 m gesunken sein, weil der obere Malm mit seinen Korallenriffen wieder die 50 m-Zone repräsentiert.

Man wird demnach bei der Feststellung der speziellen Konfiguration der Meeresbecken selbst noch auf Korallen-, Hydrozoen-, Bryozoen- und Lithothamnienriffe zu achten haben, die natürlich meistens unmittelbar durch die Anwesenheit der betreffenden riffbauenden Tiere bezw. Algen nachgewiesen werden. Wir wissen aber, daß auch oft die organische Struktur der Riffkalkmassen ziemlich bald nach ihrer Entstehung verwischt wird, daß Dolomitisierung eintritt. Natürlich wird man nicht alle Dolomitmassen als metamorphosierte Riffe ansprechen dürfen, wohl aber dann, wenn man Fossilreste von Tieren darin findet, welche ihrem Habitus nach als Riffbewohner anzusprechen sind, wie die dickschaligen Megalodonten der alpinen Trias, welche man u. a. in den sonst gänzlich fossilleeren obertriassischen Dolomitmassen der Nord- und Südalpen zuweilen antrifft.

Submarine Gräben, Bodenschwellen und Rücken zu erkennen, ist eine weitere Aufgabe. Die Schwellen werden zuweilen faunentrennend wirken, besonders wenn sie nahe an die Wasseroberfläche heranreichen, oder gelegentlich sogar darüber hinausragen und dann umso besser erkennbar sein. Wenn SCHUCHERT bei seinen Rekonstruktionen Nordamerikas[2]) fand, daß synchrone Faunen von einander differierten und dazwischen eine Unterbrechung des Sedimentes nachweisbar war, nahm er eine trennende Landbarriere an, auch wenn ihm diese als solche nicht aus dem Charakter und der Lagerung der Sedimente nachweisbar war. Ganz dasselbe kann man aber auch für den Nachweis von submarinen Barren verwenden dann, wenn zwei

1) WILLIS, B., Paleogeographic Maps: Middle Ordovician and Silurian. In: Outlines of geologic history etc. Edit. von WILLIS, B. and SALISBURY, R. D., Chicago 1910, S. 88.

2) SCHUCHERT, CH., Paleogeography of North America. Bull. geol. Soc. America, Vol. XX, New York 1910, S. 441.

Faunen von einander differieren, trotzdem die Sedimentbildung nicht unterbrochen ist und die Verschiedenheit nachgewiesenermaßen nicht auf sonstigen Faziesverschiedenheiten, wie Tiefe oder Temperatur beruht. So wird man trotz Unterbrechung des Auftretens der Sedimente und der Faunenverschiedenheit zwischen Franken und den Alpen für den Malm keine trennende Landbarre mehr annehmen, wohl aber für die Trias, weil für letzteres noch andere bestimmende Argumente hinzukommen. Nach HAUG hat BUCKMAN (in einer mir unzugänglichen Arbeit)[1]) gezeigt, daß in Gloucestershire in den Cottswold-Hills das Aalien (unterster Dogger) durch oolithisch-brecciöse Kalke gebildet wird, in den etwas südlicher gelegenen Regionen dagegen aus Sanden. In den ersteren findet man dieser Region eigentümliche Brachiopoden, während trotz großer örtlicher Nähe in Somerset und Dorset das Aalien die weitestgehende Übereinstimmung mit dem der französischen Normandie zeigt. Daraus schließt BUCKMAN auf eine zeitweise, zwischen beiden Regionen aufgetretene trennende Landbarriere. Der Gegensatz zwischen der vorher erwähnten süddeutschen und alpinen Malmfazies, der sich, wie gesagt, nicht im Sinne der Existenz eines vindelizischen Kontinentes ausdeuten läßt, bedeutet demnach einen Unterschied der Tiefen, und damit erweist sich das nordalpine Malmmeer im Vergleich zu dem süddeutschen als eine Senke.

Was die Becken selbst anbelangt, in denen wir diese Zonen unterscheiden, so teilen wir sie ein in: Transgressionsmeere, welche vom Weltmeere aus die Festlandssockel überfluten und mit letzterem mehr oder minder ihrer ganzen Breite nach in Zusammenhang stehen, also im wesentlichen mit dem Schelfwasser identisch sind; dann in die Ingressionsmeere, das sind die intrakontinentalen Senken, die als sogenannte Mittelmeere erscheinen und die wir Geosynklinalmeere nennen, wenn sie sich als besonders labile Zonen innerhalb des Kontinentalkomplexes erweisen.

Es wird im praktischen Verfahren für den Paläogeographen nützlich sein, nicht schlechtweg Karten der Land- und Meeresgrenzen anzustreben, sondern für jedes Zeitalter zunächst die geographischen bezw. geomorphologischen Hauptelemente festzustellen, also weniger Oberflächenkarten als vielmehr Festlands-, oder Geosynklinal-, oder Ingressions-, oder Tiefseezonen auf seinen Karten zu markieren. In dieser, der Unzulänglichkeit unseres paläogeographischen Wissens viel besser entsprechenden Darstellungsart liegt der Wert der auf S. 24/25 besprochenen HAUG'schen Karten.

Hat man erst mit Anwendung der vorbezeichneten Grundlagen im großen die Hauptkomplexe der Festländer und Meere vorweltlicher Zeiten gewonnen, so wird man nicht minder darangehen, die spezielleren geomorphologischen Verhältnisse des Meeresbodens und der Festländer zu untersuchen. Wir wollen wissen, wo wir an der Grenze von Land und Meer Deltabildungen, Lagunen und Aestuare, wo wir Meerengen und Buchten, schmale oder breite Meeresarme, Landzungen und Inseln, Klippen, Steil- oder Flachküsten, submarine Steilabfälle, Barren oder Gräben und Rücken zu suchen haben, und wir werden uns nicht minder dafür interessieren, welche

1) BUCKMAN, S. S., The relations of Dundry with the Dorset-Somerset and Cotteswold areas, during part of the jurassic period. Proceed. Cotteswold Naturalist's Field Club, Vol. IX, 1889, S. 374—387. (Teste E. HAUG, Traité de Geologie, S. 957. Nr. 1140.)

untergeordneteren Bewegungen im einzelnen innerhalb einer auch enger begrenzten geologischen Zeitphase der Meeresboden und die Küste gemacht haben — Bewegungen, welche sowohl das Präludium späterer oder der Ausklang älterer großer Umsetzungen sein können. So wissen wir von geringen Hebungsvorgängen im Lias der Ostalpen, welche die kretazisch-tertiäre Faltung in der alpinen Geosynclinalregion im Voraus einstweilen ankündigen, um dann zunächst wieder einer Zeit neuer Senkung zu weichen. Korallen-, Bryozoen-, Austern- und Kalkalgenriffe, sowie die Eintragung submariner Vulkanherde werden in den marinen Regionen unser paläogeographisches Kartenbild zu vervollständigen haben, durch die es jedoch noch nicht erschöpft wird; denn Angaben von Zugstraßen der Tierwanderungen, Aufsuchung von Meeresströmungen und deren Temperatur, Angaben über den Salzgehalt einzelner Regionen sind tunlichst zu machen. Auf den Festländern forschen wir nach Flußläufen, Seen, Mooren, Gletschern und Inlandeismassen, nach Gebirgszügen, Vulkanen, Ebenen und Tälern, nach Dünen, Wüsten und Wäldern und womöglich nach der Gesteinszusammensetzung der Oberfläche. Die Feststellung des Reichtumes und der Verbreitungsart von Pflanzen und Tieren, und endlich die Darstellung der klimatisch-meteorologischen Verhältnisse fügt sich dann als Schlußstein in unser paläogeographisches Gebäude ein. Methoden und Grundlagen zur Erkennung der letzteren werden später gesondert behandelt.

Ist es eine prinzipielle Frage für paläogeographische Rekonstruktionen, wie wir eine absolute oder relative Zeitbestimmung durchführen und eine exakte Altersparallelisierung der Schichten vornehmen können, so ist die Frage, was für Ablagerungen wir im einzelnen konkreten Fall vor uns haben — ob Land-, Süßwasser- oder Meeresablagerungen und unter letzteren: welcher Tiefe sie ehemals angehörten — die Grundlage für jede paläogeographische Erkenntnis.

Neben dem rein petrographischen Charakter der Schichten, der im allgemeinen auf die orographische Gestaltung der Meeresbecken bezw. Landflächen schließen läßt, ist vor allem ihr Fossilinhalt maßgebend, der uns unmittelbar über den biologischen Charakter des ehemaligen Ablagerungsortes, also über das Milieu, in dem die Tiere lebten, belehrt. Dabei darf indessen nicht übersehen werden, daß Fossilien auf sekundärer Lagerstätte liegen können, sei es, daß die sie enthaltenden Schichten mit ihrem ehemaligen Fossilinhalt durch spätere Erosionskräfte auf dem gleichen Areal, also etwa auf dem Festlande umgelagert wurden, oder vom Festland in's Meer zu liegen kamen und hier in Marinsedimenten eingebettet wurden, wobei sie dann natürlich auch einen anderen Zeitraum vertreten; sei es, daß schon von Anfang an Landtiere und Landpflanzen in's Meer geschwemmt und dort erstmalig eingebettet und fossil wurden, so daß auch in diesem Falle Marinsedimente Landorganismen enthalten; oder daß umgekehrt etwa laichende Meerfische in Flußmündungen oder mindestens in Brackwasser temporär einzogen und dort fossil wurden; sei es endlich, daß einzelne Gruppen ursprünglich Meerbewohner waren und dann dauernd Süßwasserbewohner wurden, so daß ihr Vorkommen in einer späteren Schichtstufe keinen direkten Rückschluß auf den Ablagerungsort der Schichten erlaubt, in denen sie früher fossil lagen, wie das bei den Ganoidfischen der Fall ist. Das Normale ist natürlich stets, die Art

und Weise des Vorkommens und den morphologischen Charakter im Zusammenhange mit den Verhältnissen des Aufenthaltsortes zu verstehen und mithin auch aus dem Vorkommen der Formen im fossilen Zustande Rückschlüsse auf den Charakter des Ortes zur Zeit des Lebens bezw. Fossilwerdens der betreffenden Organismen zu ziehen.

Wir nennen die Anwendung dieses Gesichtspunktes zu paläogeographischen Zwecken die biologische Methode. Die Verwertung des petrographischen Charakters der Schichten zum gleichen Zweck oder zur Altersparallelisierung nennen wir die petrographische Methode und bedienen uns ihrer, wenn Fossilien in einer Schicht da und dort gelegentlich fehlen, dabei aber aus dem ganzen Zusammenhange mit den darunter und darüberliegenden Schichten ein Zweifel hinsichtlich der Identifikation und der Alterseinreihung nicht wohl existiert. Beide zusammen, die biologische und die petrographische, können wir als die stratigraphische Methode bezeichnen. Das Verfahren endlich, welches auf dem vergleichenden Studium und auf der Kombinierung einzelner als gleichalterig bereits festgestellter, räumlich mehr oder minder getrennter Vorkommen beruht, mag man mit einem von Schuchert geschaffenen Ausdruck[1]) die arealgeologische Methode nennen.

2. Das Fehlen von Ablagerungen einer bestimmten Zeit.

Vom rein theoretischen Standpunkte aus scheint nun nichts einfacher zu sein, als auf Grund der stratigraphischen Vorkommen und deren Altersparallelisierungen auch die Karten der Meere und Länder vorweltlicher Zeiten zu entwerfen. Ehe jedoch die Paläogeographie an die konkrete Lösung dieser Aufgabe gehen kann, muß sie sich Rechenschaft darüber gegeben haben, wie weit die einzelnen Methoden zur Lösung dieser Aufgabe ausreichen, und wenn nicht, welche Hilfsmittel ihr allenfalls sonst noch zur Verfügung stehen.

Wenn alle jemals auf der Erde entstandenen Festlands- oder Meeresablagerungen eines Zeitalters — was natürlich ein Ding der Unmöglichkeit ist — ungeschmälert an ihrer ursprünglichen Stelle erhalten geblieben wären und anstünden, so müßte eine genau aufgenommene, entsprechend abgedeckte und durch Tiefbohrungen etwa ergänzte geologische Karte auch ohne weiteres die Konstruktion paläogeographischer Land- und Meeresgrenzen ermöglichen; man bräuchte diese Grenzen nur dort einzutragen, wo die entsprechenden Ablagerungen sich fänden. Aber abgesehen davon, daß wir noch nicht in das Dunkel der Ozeane mit unserer geologischen Forschung einzudringen gelernt haben[2]), ist auch das jetzige Anstehen und die jetzige

1) Schuchert, Ch., Paleogeography of North America, a. a. O. S. 446.

2) Anch hierzn ist, abgesehen von der Tiefseeforschnng, die meist rezente Bodenproben heranfbringt, immerhin schon ein Anfang gemacht. Durch Verfolgung tektonischer Linien an zwei gegenüberliegenden Küsten, durch das Abbrechen von Formationen und Gebirgszügen an der einen, und ihrer gleichsinnigen Fortsetzung an der anderen Küste lassen sich immerhin mancherlei Schlüsse auf den Bau und die stratigraphische Zusammensetzung mancher Meeresböden ziehen. Einen derartigen praktischen Versuch hat Lemoine gemacht (La géologie du fonds des mers. Manche et Atlantique nord. Ann. de Geogr., Vol. XXI, Paris 1912, S. 385—392), woselbst anch frühere Ergebnisse von Jukes-Browne (Chalk pebbles, dredgad from the english channel. Geol. Magaz. Dec. V, Vol. 10, London 1913, S. 62—70) und Cole and Croock (On rock specimens dredged from the floor of the atlantic off coast

Verbreitung einer Formation keineswegs identisch mit der seinerzeitigen Verbreitung des ablagernden Mediums. Zunächst einmal sind große Massen von Ablagerungen durch später darüber geschichtete Verbände oder durch jetzige Meeresbedeckung uns unzugänglich. Ferner können sie durch die Erosion und Denudation zerstört sein; oder es wird sich, wenn in einer Schichtfolge mehrere Stufen fehlen, vielfach gar nicht feststellen lassen, welche von den fehlenden primär nicht abgelagert, oder welche durch Erosion zuvor schon entfernt wurden. Drittens können gewaltige Schichtsysteme durch tektonische, gebirgsbildende Bewegungen verworfen und an andere Stellen überschoben und überfaltet, oder auf ein weit engeres Areal zusammengepreßt sein, wodurch sie sich nicht nur von ihrem ursprünglichen Entstehungsorte weiter entfernt, sondern möglicherweise auch autochthon daliegende Sedimente gleichen oder verschiedenen Alters zugedeckt haben. Wie wenig die jetzige Ausdehnung der Sedimente der wirklichen Ausdehnung des ehemaligen Ablagerungsgebietes entspricht, zeigt das beigegebene, etwas vereinfachte Kärtchen von SCHUCHERT, wo die dem mittleren Untersilur zugehörigen Ablagerungen durch tiefschwarze Flecken und Punkte bezeichnet sind, die Ausdehnung des ablagernden Meeres aber durch Schraffuren (Fig. 57, S. 312).

Für Gegenden mit ungestörten oder wenigstens mit ungefalteten, also autochthonen Sedimenten gilt ganz allgemein der Satz: Wo marine Sedimente sind, war zu der Zeit, aus der sie stammen, Meeresbedeckung an der betreffenden Stelle. Aber es gilt nach dem früher Gesagten weder die Umkehrung: Wo Meer war, sind marine Sedimente; noch auch das Gegenteil: Wo keine Sedimente sind, war kein Meer. Mithin hat der Paläogeograph, wenn marine Sedimente aus einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Orte fehlen, in jedem Einzelfalle sich darüber klar zu werden, warum sie fehlen und woraus man sich über ihr ursprüngliches Vorhandensein und ihre Ausdehnung bezw. über ihr primäres Nichtvorhandensein bestimmt unterrichten kann. Die zum Teil vorhin schon ganz allgemein angedeuteten Möglichkeiten sollen hier spezialisiert und mit einigen Beispielen belegt werden.

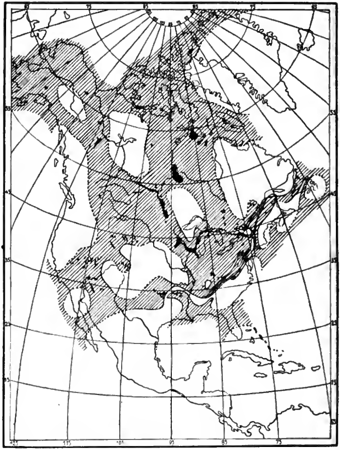
1. Es war ein Meer mit Sedimentmaterial da, es wurde aber nichts abgelagert, weil Strömungen dies verhinderten. Sie können entweder gleichzeitig vorhanden sein und die Sedimentbildung unmittelbar hintanhalten, oder etwas später die zuvor entstandenen noch unverhärtet daliegenden Sedimente wieder weggeführt haben. Es wäre das ein intramariner Erosionsvorgang. So gibt KRÜMMEL[1]) an, daß zwischen den Kanarischen Inseln felsige Schwellen liegen, die aus einer Tiefe von 4000 m bis zu etwa 1800 m heraufsteigen und durch Gezeitenströmungen gänzlich von Globigerinenschlamm freigeputzt sind. Solche Strömungen zeigen auch anderwärts Erosionswirkung im Meeresboden, so bei der Insel Sylt, oder im Ärmelkanal, oder in der kanadischen Fundybai, wo sie nicht nur jeglichen Sedimentabsatz verhindern sollen, sondern auch den Meeresgrund selbst erodieren. Das letztere vermögen die

of Ireland and their bearing on submarine geology. Mem. geol. Surv. Ireland Dublin 1910) besprochen und verwertet wurden. LEMOINE schlägt vor, von allen submarinen Felsen und harten Untergründen systematisch Gesteinsproben zu sammeln. (Nach Referat von ANDRÉE im N. Jahrb. f. Mineral. etc. 1914, Bd. I, S. 233/234.)

1) KRÜMMEL, O., Handbuch der Ozeanographie, 2. Aufl., Bd. II, Stuttgart 1911, S. 285.

gewöhnlichen Meeresströme nicht, aber auch sie verhindern zuweilen Sedimentbildung in Form von Deltaablagerungen an der Küste, indem sie, an den Flußmündungen vorbeistreichend, alles hereingeschaffte Material hinwegtragen und weit weg erst zu Boden sinken lassen[1]).

2. **Das Vorhandensein von Inseln und Klippen, die mitten im Meere aufragten, können einen Sediment-**



Figur 57.

absatz verhindert haben. Das wird sich aber, selbst wenn sie schließlich abgetragen sind, stets unmittelbar im geologischen Profil zu erkennen geben, sei es durch Konglomeratbildungen oder durch diskordante Anlagerung der betreffenden Sedimente an älteres Ge-

1) Kayser, E., Lehrbuch der allgemeinen Geologie, 3. Aufl., Stuttgart 1909. S. 496—498.

Digitized by Google

stein, in der Art, wie es unsere Fig. 58 auf S. 316 zu erkennen gibt, so daß aus einem solchen Falle für den Paläogeographen unter Umständen die Schwierigkeit erwachsen dürfte, zu unterscheiden, ob hier eine submarine Klippe ohne Sedimentauflagerung oder eine über den Meeresspiegel hinausragende Insel vorhanden war.

3. Es können die Sedimente durch spätere Ablagerungen verdeckt sein, indem entweder ursprünglich schon das Meer mehrere Perioden hindurch an ein und derselben Stelle blieb und Sedimente über Sedimente anhäufte, oder durch Überfaltungen und Überschiebungen spätere Überdeckung stattgefunden hat. Es wird dann oft von Tiefbohrungen abhängen, ob sich das Vorhandensein einer Formation oder Stufe feststellen läßt. So ist die Ansdehnung des Jura unter dem Boden Mecklenburgs und auf der Insel Wollin nachgewiesen worden. Es können sich auch Gebirgsdecken über das Vorland legen und ehemals anstehende Gesteine verdecken. So nimmt Uhlig an, daß die sedimentären Verbindungen zwischen außeralpinem und alpinem Jura in Süddeutschland, deren Fehlen zur Konstruktion des vindelizischen Kontinentes mit beigetragen hat, „unter den herangefrachteten Ketten der Ostalpen und Karpathen" verschwunden sind und die ehedem weiter im Süden abgelagerten Juragesteine „fast anprallen lassen" an den außeralpinen süddeutschen Jura. In derselben Weise ist die alte Strandlinie des alpinen Meeres im Lias, Tithon und Neokom längs der bojisch sudetischen und südrussischen Landmasse verhüllt. „Von der Liaslinie wissen wir, daß sie von Regensburg nach Süden zieht, hier unter die Alpen hineingeht und auch im Dobrudschagebirge nicht wieder zutage tritt, wohl aber vielleicht südlich davon im Balkan. Ihr Verlauf unter den Ostalpen und Karpathen entzieht sich gänzlich unserer Beurteilung. Etwas Ähnliches gilt von der Strandlinie des Tithons und Neokoms; alles Tithon und Neokom des Außenrandes der Ostalpen und Karpathen ist überschoben, und so sind die wahren Strandlinien dieser Stufen und deren Beschaffenheit am Rande der bojischen und sudetischen Insel vom Juragebirge an bis zur Dobrudscha unserem Einblick verborgen. Gegenwärtig ist dieses Dunkel nur durch Tiefbohrung von Rzeszotary und bei Wieliczka und einige spärliche Blöcke von Juragesteinen ... im karpathischen Flysch schwach erhellt ... welche, wie auch immer man ihre Bildung deuten mag, anzeigen, daß im autochthonen Untergrunde des mittleren Teiles der galizischen Sandsteinzone die Trias- und Juraformation noch in mitteleuropäischer Entwicklung vorhanden ist[1])."

4. Das Jetztmeer kann in seinem Schoße Ablagerungen verdeckt halten, wie wir für die eupelagischen und den größten Teil der hemipelagischen des Tertiär unbedingt annehmen müssen. Solche Sedimente werden uns nicht zugängig sein, solange es nicht gelingt, auch marine Tiefbohrungen in größerer Zahl auszuführen. Denn nicht immer liegen die Verhältnisse so günstig, wie in dem einen Falle, wo in einem von der deutschen Tiefsee-Expedition im Pazifik geloteten roten abyssischen Tone das Pliocän noch durch Haifischzähne nachgewiesen ist.

5. Durch spätere Verwerfungen und Absinkungen können ausgedehnte Formationskomplexe verschwin-

1) Uhlig, V., Die marinen Reiche des Jura und der Unterkreide. Mitteil. Wiener Geol. Ges., Bd. IV, 1911, S. 364 u. 365.

den. So haben ungeheuere Abbrüche und Absenkungen das ehemals über Südafrika und Indien und über das Areal des Indischen Ozean angeblich sich erstreckende paläo-mesozoische terrestre Karroo- bezw. Gondwanasystem an den Rändern beider Länder abgeschnitten, und gerade durch die beiderseitige Identität der Formation und durch dieses unvermittelte Abbrechen am Meeresrande hat sich schon den ältesten Beobachtern die Annahme eines ehemaligen Landzusammenhanges beider Regionen aufgedrängt[1]).

6. Es können Marinsedimente fehlen, aber die Tätigkeitsspuren von Marintieren der betreffenden Zeit übrig geblieben sein, welche uns das ehemalige Vorhandensein des Meeres unmittelbar vor Augen führen. Ein neuzeitliches Beispiel hierfür ist der als Beweismittel für Strandverschiebungen so viel zitierte Serapistempel bei Pozzuoli am Golf von Neapel, dessen Säulen in halber Höhe Bohrmuschellöcher als Beweis für den ehemaligen höheren Wasserstand des Meeres zeigen; bei Ulm a. D. finden sich im Jurakalkstein von den gleichen Organismen, jedoch aus tertiärer Zeit, ebensolche Bohrlöcher, und auch diese würden uns die Küste des Miocänmeeres in dortiger Gegend erkennen lassen, wenn selbst die vorhandenen Miocänschichten mit ihrem Fossilinhalt verschwunden wären.

Da wir unsere paläogeographischen Studien aber so gut wie ausschließlich nach den Befunden auf unseren Festländern zu machen gezwungen sind, so kommt vor allem

7. die vom Wasserkreislauf hier bewirkte Erosion in Betracht, wodurch die jetzige Verbreitung der Formationen nicht der ehemaligen ihrer Meere entspricht. Als einfachstes klarstes Beispiel hierfür sind die isolierten Zeugenberge in der Sahara, oder die ganz gleichartigen des sächsischen Elbsandsteingebirges zu nennen. Der die schwäbische Alb aufbauende Jurakalk hört heutzutage mit einem Steilrande auf, der nach Branco[2]) ungefähr 23 km südlich von Stuttgart liegt, aber sich zur Miocänzeit etwa bis zu dieser Stadt erstreckt haben muß, weil dort in einem Eruptionsschlot, der zur Tertiärzeit durchbrach, Brocken von weißem Juragestein gefunden wurden. Aber nicht nur, daß sich die Juratafel der schwäbischen Alb soweit ausdehnte, sie muß sich bis zum Rhein erstreckt haben, weil sich sowohl bei Freiburg, wie bei Heidelberg durch Verwerfungen der Erosion entgangene Juraschollen gefunden haben, die auch in Elsaß-Lothringen nachgewiesen sind, so daß Branco eine Karte entwerfen konnte, welche uns veranschaulicht, wie allmählich der Jura zurückgewichen ist, und wie wenig die Verbreitung einer Formation mit der Verbreitung des Meeres, aus der sie hervorging, übereinstimmt.

So kann man also von vornherein vermuten, bezw. man muß es als ganz bestimmt annehmen, daß das plötzliche Abschneiden einer marinen Fazies kein ursprüngliches ist. Vor allen Dingen müssen dort, wo eine Sedimentation wegen Küstennähe ausklingt, auch Küstenablagerungen aufzufinden sein, also Konglomerate und Sandsteine, womöglich mit eingeschwemmten Landpflanzenresten. Wenn diese fehlen und trotzdem die Formation sich verliert, darf man stets auf

1) Suess, E., Das Antlitz der Erde, Bd. I, 1885, Kap. 6.

2) Branco, W., Ein neuer Tertiärvulkan nahe bei Stuttgart etc. Sonderabdruck aus dem Univ.-Programm zum Geburtstag des Königs Wilhelm II., Februar 1892. Tübingen 1892. (Mit Karte.)

spätere Erosion oder auf Abschneiden durch tektonische Verschiebungen rechnen und, wie im Falle des schwäbischen Jura, erwarten, irgendwo in der ferneren oder näheren Umgegend Reste der betreffenden Formation aufzufinden. Zuweilen kommt es auch vor, daß Gesteine einer älteren Stufe aufgearbeitet in Brekzien und Konglomeraten einer jüngeren angetroffen werden und uns, wenn jene auch gänzlich verschwunden ist, dennoch sichere Kunde von ihr geben, zuweilen sogar belegt durch Fossilien, die aus der älteren in die jüngere übernommen wurden. So finden wir in der terrestren Kreide Frankens zuweilen Perisphinkten aus dem weißen Jura, und im Habichtswalde bei Kassel kommen im Tertiär Cenomangerölle vor[1]), während heute Cenoman in der Gegend von Kassel nichtmehr ansteht. Es läßt sich aus diesem Funde somit eine Ausdehnung des mittleren Kreidemeeres vom nördlichen Harzrande bis nach Kurhessen herunter folgern. Daß in Südwestdeutschland ehemals silurische Graptolithenschiefer vorhanden waren, wissen wir nur aus dem Vorkommen solcher Gerölle in der Trias der Vogesen[2]). Auf einen sehr viel weiteren Transport weist die reiche, in den norddeutschen Diluvialablagerungen gefundene Cenomanfauna[3]), welche uns über das damalige Anstehen dieser Formation in borealen Gegenden Kunde gibt, wo wir heute keine Spur mehr von ihr kennen.

Gelegentlich kann ein submarines Anstehen von Formationen, die jetzt unserer unmittelbaren Beobachtung unzugänglich bleiben, dadurch erwiesen werden, daß abgerissene Gesteinsteile oder ausgewaschene Fossilien durch die Brandung an den Strand geworfen werden. Einen solchen Fall teilt Abel von der belgischen Küste mit[4]), wo Carditen und Cypricardien aus dem Alttertiär am Strande bei Knocke s. M. angespült werden — zugleich eine vor unseren Augen sich zutragende Umlagerung von Fossilien auf sekundäre Lagerstätte. Sie werden unter die rezenten gemischt und nun mit diesen gleichzeitig fossil. Den gleichen Fall erkennt man im schwäbischen Jura wieder in der sogenannten „Boller Breccie" des oberen Lias, ein Horizont, dessen Mächtigkeit rasch wechselt und der aus zerbrochenen und abgeriebenen Ammonitensteinkernen und Belemniten verschiedener früherer Zonen besteht, so daß der Horizont aus der marinen Aufarbeitung kurz vorher gebildeter Sedimente analog dem obigen rezenten Beispiel entstanden sein muß[5]).

Wie sehr man auch durch das profilmäßige Auftreten, nicht nur durch das Fehlen von Schichten zu falschen paläogeographischen Schlüssen verleitet werden kann, zeigt eine zwischen Schottland und den Faroër in 300 Faden Tiefe sich hinziehende, das nordatlantische und das arktische Meer trennende Barre[6]), die von der Strömung vollständig abgewaschen ist, während sich Sand und Schlammablagerungen

1) Kayser, E., Abriß der geologischen Verhältnisse Kurhessens, Marburg 1904, S. 5.

2) Noël, E., Note sur la faune des galets du grès vosgien. Bull. Soc. Sci. Nancy, Vol. VI, 1905, S. 46—73.

3) Noetling, F., Die Fauna der baltischen Cenomangeschiebe. Paläontol. Abhandl. von Dames u. Kayser, Bd. II, Jena 1885, S. 203, 204.

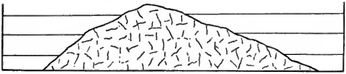
4) Abel, O., Grundzüge der Paläobiologie der Wirbeltiere, Stuttgart 1912, S. 48 u. 63.

5) Fischer, E., In welchen Meerestiefen haben sich unsere Juraschichten gebildet? Jahresh. Ver. vaterl. Naturk., Jahrg. 1912. Stuttgart 1912, S. CX.

6) Willis, B., Principles of Paleogeography. Science, Vol. XXXI (N. S.), 1910, S. 249.

an ihren Rändern bilden. Dieses Phänomen, als vorweltliche Ablagerung genommen und profilmäßig dargestellt, würde genau dieselbe Ansicht ergeben, wie die transgressive Anlagerung von Marinschichten an eine als Festland aufragende Felseninsel (Fig. 58). Geomorphologisch ist sie das auch, wenn man von der Wasserbedeckung absicht, aber für die genaue Rekonstruktion einer paläogeographischen Karte könnte ein solches Profil sehr wohl den Irrtum mit sich bringen, daß man eine über den Meeresspiegel hinausragende Insel und nicht eine homogene Meeresbedeckung konstruieren würde. Hierzu vergleiche man den späteren Abschnitt über Meeresströmungen.

Willis meint, daß in den jetzigen Epikontinentalmeeren die Bedingungen für Erosion der Schichten durch Meeresströmungen nicht gerade ausgesprochen vorhanden wären, da die heutigen Epikontinentalmeere nicht, wie früher, durch die Landkomplexe vollständig hindurchführende schmale Kanäle, sondern vielmehr Buchten seien, wie die Hudson-Bay, in denen erodierende Strömungen nicht zur Entwicklung kämen, so daß alles vom umliegenden Lande hereingebrachte Material an Ort und Stelle liegen bliebe. Die durch die Transgressionen während der paläozoischen Perioden entstandenen Epikontinentalmeere seien quer durch die Länder streichende, beiderseits offene Kanäle

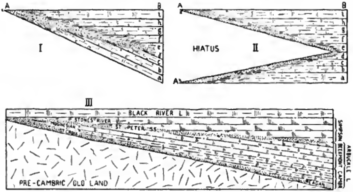


Figur 58.

gewesen, durch welche die Strömungen hindurchfegten, ebenso wie der Golfstrom vom Karibischen Meer in den Atlantischen Ozean eilt. Zudem seien sie von flachen Ländern umgeben gewesen, auf denen die Wasser keine groben, sondern nur feine Sedimente herbeibrachten, so daß im Gegensatz zu heute unter jenen Umständen geradezu Nichtablagerung in den Epikontinentalmeeren begünstigt worden sei. Wir wissen nicht soviel über die Strömungen in vorweltlichen Meeren, daß wir mit solcher Bestimmtheit rein deduktiv aussprechen dürften, es seien zu paläozoischer Zeit infolge der damals herrschenden Strömungsverhältnisse Sedimente nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen in den epikontinentalen Meereskanälen zustande gekommen. Auch daß die Länder im Paläozoikum flach waren, will angesichts der silurischen, devonischen und karbonischen Gebirgsfaltungen auf der Nordhemisphäre, um die es sich bei jenen Vorstellungen ja gerade handelt, nicht recht einleuchten. Dagegen hat Willis unbedingt Recht, wenn er im Zusammenhange mit Obigem daran erinnert, daß das primäre Fehlen von Marinablagerungen an sich kein Beweis für Nichtablagerung oder gar für Trockenlegung sei. Marine Wasser liefern nicht nur Sedimente, sie verhindern auch Ablagerung, ja sie sind imstande, gelegentlich vorhergebildetes Sediment wegzuführen.

Daß auch in einer scheinbar einfachen Schichtlage mehrere erdgeschichtliche Phasen enthalten sein können, mag folgendes Beispiel

lehren[1]): Es wurde oben im Kapitel VII (S. 241 ff.) schon auf die Ablagerungserscheinungen eingehend hingewiesen, die bei aufeinanderfolgenden Trans- und Regressionen sich einstellen. Wir nehmen nun an, nach einer ein Schlußkonglomerat absetzenden Rückzugsphase des Meeres liege die dabei gebildete Konglomeratschicht einige Zeit trocken und dann dringe das Meer durch eine von rechts nach links fortschreitende Absenkung wieder von neuem vor. Dann entsteht eine neue, grob detritische Zone über der vorherigen, neue feine Sedimente folgen nach. Draußen im freien Meere hat sich während aller dieser Zeiten eine einheitliche kontinuierliche Schichtfolge entwickelt, dagegen in der von der Trans- und Regression betroffenen Kontinentalregion eine kon-



Figur 59.

glomeratige, zum Teil aus Aufarbeitung der früheren entstandene stratigraphische Stufe, die möglicherweise durchweg denselben petrographischen Habitus besitzt, aber in ihren einzelnen nahe bei einander gelegenen Abschnitten sehr verschiedenaltcrig ist und sowohl Elemente des marinen Rückzugs wie des Vordringens enthält (Fig. 44 *I*). Zugleich ist aber darin eine zeitliche Lücke, die umso größer ist, je weiter die betreffende Stelle vom offenen Meere entfernt liegt. Es sind Zeiten der Trockenlegung darin enthalten, vielleicht sogar aufgearbeitete subaeriale Verwitterungsprodukte, welche diesen Zeiten der Trockenlegung entsprechen, und dieser Hiatus ist durch das von Grabau gegebene Schema, Fig. 44 II, veranschaulicht. Natürlich muß sionen ch vorstellen, daß zwischen den einzelnen Trans- und Regresman sitektonisehe Verlagerungen des Landsockels und der Sedimentreihe in der Nähe des Landes liegen.

Man wird also beim Auftreten eines Küstenkonglomerates jeweils prüfen müssen, ob es einen bis zu einem gewissen Grade stratigraphisch und zeitlich einheitlichen Horizont repräsentiert, oder nicht am Ende die Geschichte großer Meeresoszillationen erzählt. Einen solchen Fall sieht Grabau u. a. in den durch den St. Peter-Sandstone getrennten untersilurischen Ablagerungen der Mississippi-Region (Fig. 44 *III*).

1) Grabau, A., Types of sedimentary overlap. Bull. geol. Soc. America. Vol. 17, Rochester 1906, S. 619.

Wenn aus den schon angegebenen Gründen, wie Erosion, Bedeckung, Gebirgsfaltung vielfach die örtliche Lage und Ausdehnung der Sedimentvorkommen eine ganz andere ist, als die der entsprechenden vorweltlichen Meere, Seen, Flüsse und eventuell Gletscher, so handelt es sich für den Paläogeographen in erster Linie darum, Mittel und Wege ausfindig zu machen, nach denen die von der Natur selbst gerissenen Lücken und vorgenommenen „Fälschungen" der historischen Urkunde wieder ausgeglichen werden können. Das allerwichtigste Verfahren, fehlende Ablagerungen zu ergänzen, bezw. Land- und Meeresverbindungen auf paläogeographischen Karten richtig einzutragen, wenn die dazu nötigen Ablagerungen eines bestimmten Alters fehlen, ist die tier- und pflanzengeographische Methode, die im folgenden Abschnitt vom prinzipiellen Standpunkte aus behandelt werden soll, und die auf der Feststellung identischer Arten in getrennten Arealen und dementsprechender Vereinigung solcher Areale zu einem zusammenhängenden gleichartigen Lebensbezirke beruht.

3. Die tier- und pflanzengeographische Rekonstruktionsmethode.

Auf die einfachste Formel gebracht, lautet der Grundsatz der tier- und pflanzengeographischen Methode dahin, daß das Vorkommen gleichartiger Formen und gleicher Spezies einen terrestrischen bezw. marinen Zusammenhang der Lebensbezirke voraussetzen läßt. Und zwar gilt dieser Satz unbedingter als seine Umkehrung: die floristische und faunistische Verschiedenheit zweier Gebiete lasse auf ihre Trennung schließen. Auf dem Lande bedingen verschiedene Höhenlagen und damit die Temperaturdifferenzen in ein und demselben Gebiete oft außerordentliche Unterschiede, und stellenweise ist es auch in den Meeren so, obwohl dort im ganzen, von den Grenzen zwischen kalten und warmen Strömungen abgesehen, die Temperaturen auf weitere Strecken hin ausgeglichener und auch der Temperaturwechsel an ein und derselben Stelle weniger schroff und weniger häufig ist als auf dem Lande, wenn man von der allerobersten Wasserschicht an einer ruhigen Küste absieht. So hat die ganze Tiefsee eine um 0° herumliegende gleichmäßige Dauertemperatur auf Strecken hin, die auf dem Lande in solcher Ausdehnung niemals eine derartige Gleichmäßigkeit aufweisen könnten.

Ein Beispiel, wie rein nach faunistischen Gesichtspunkten eine Konstruktion von marinen Verbindungen und einer Unterbrechung ihres Zusammenhanges erfolgen kann, liefert eine Untersuchung[1]) von Pompeckj. Im nordwestlichen Deutschland stehen zahlreiche isolierte Juraschollen an als Zeugen ausgedehnter Meeresbedeckung. Isolierte kleinere Liasschollen in der Gegend von Gotha, Eisenach, Fritzlar zwingen zu der Annahme einer Meeresverbindung nach Franken und Schwaben, wenn man die postjurassische Denudationswirkung mit berücksichtigt. Ist nun auch für die Zeit vom unteren Lias bis zum Bathonien die Verbindung zweifellos vorhanden, so muß doch ihre Breite und Tiefe gewechselt haben, denn im Lias β

1) Pompeckj, J. F., Die zoogeographischen Beziehungen zwischen den Jurameeren Nordwest- und Süddeutschlands. 1. Jahresber. Niedersächs. Geol. Ver., Hannover 1908, S. 10—11.

werden z. B. die faunistischen Differenzen zwischen den nordwestdeutschen und schwäbischen Vorkommen so groß, daß selbst unter Berücksichtigung der Faziesverhältnisse in Franken die Nord- und Süddeutschland verbindende Straße zum mindesten sehr eingeengt und flach war. Noch schärfer werden die faunistischen Unterschiede mit dem Bathonien und weisen auf einen weniger innigen Zusammenhang hin. Im oberen Callovien ist die Fauna Nordwestdeutschlands so verschieden von der süddeutschen, daß ein nordsüdlicher Meereszusammenhang nichtmehr angenommen werden kann. Die Faunenverschiedenheit beruht auf dem überwiegenden Einfluß des russischen Faunenreiches, der sich vom unteren Callovien ab entscheidend geltend macht. Das Gleiche ist vom unteren Malm ab der Fall.

Wir haben hier eine typisch faunistisch-biologische Argumentationsmethode vor uns, mittels deren über den Zusammenhang oder die Unterbrechung von Meeresbecken entschieden wird. Freilich darf nicht vergessen werden, daß dieses Verfahren nur ein Hilfsmittel ist, das immer erst in zweiter Linie zur Anwendung kommen kann, dann nämlich, wenn anstehende Sedimente als verbindende Glieder fehlen. Nun wäre es aber auch denkbar und es ist auch oft der Fall, daß auch in zusammenhängenden Sedimentationsgebieten ein und derselben Epoche Faunenverschiedenheiten vorhanden sind. Diese beruhen dann auf verschiedenen Lebensbedingungen, die an den verschiedenen Stellen ein und desselben Meeres herrschten, und als solche kommen in Betracht: Zufuhr verschiedenartiger Stoffe vom Lande, verschiedene Tiefe, verschiedene Beweglichkeit und verschiedene Temperatur des Wassers. Die faunistische Rekonstruktionsmethode ist also dann erst einwandfrei, wenn untersucht und entschieden ist, was auf Rechnung dieser letzteren Faktoren und was bloß auf mangelnde unmittelbare Verbindung zu setzen ist. Im obigen Beispiel ist von Pompeckj die petrographische Faziesverschiedenheit der Ablagerungen zwar mit berücksichtigt worden, doch konnte bei unserem derzeitigen Wissen die Frage nicht entschieden werden, ob am Ende verschiedene Strömungen und verschiedene Temperierung des Wassers nicht wesentlicher an den faunistischen Verschiedenheiten schuld sind, als trennende Landgebiete. So unterscheidet sich der alpine Jura petrographisch und faunistisch vielfach sehr vom mitteleuropäischen, und das war früher ein Grund, um einen trennenden, von Böhmen westwärts sich erstreckenden vindelizischen Rücken zwischen beiden Meeresgebieten zu postulieren, während man später die Faunen- und Gesteinsunterschiede, wenigstens für den Dogger und Malm, nur noch als verursacht durch die Meerestiefen ansah und die trennende Landbarre für entbehrlich hielt. Ein Beispiel für dieselbe Methode ist es, wenn man aus der Zusammensetzung der australischen Landfauna schließt, daß schon im Alttertiär der Zusammenhang dieses Landes mit der alten Welt unterbrochen wurde[1]).

Diese tier- und pflanzengeographische Methode steht und fällt mit der Annahme, daß sich ein und dieselbe Tierform oder Art nur an einem Punkte der Erde entwickeln könne bezw. entwickelt habe — eine Anschauung, die wir schon oben S. 285ff. bei der Besprechung der relativen Altersbestimmung erwähnt und in ihrer extremen Form bekämpft

1) Supan, A., Grundzüge der physischen Erdkunde, 5. Aufl., Leipzig 1911, S. 877/878.

haben. Indem wir hier auf jenen Gedankengang verweisen, wollen wir noch einiges zur Ergänzung hinzufügen.

Wenn in nahe bei einander liegenden Vorkommen die gleichen fossilen Pflanzen in der gleichen terrestren Gesteinsformation auftreten, wird man geneigt sein, die Punkte zu einer einheitlichen Landmasse paläogeographisch zu verbinden. Wenn wir nun heute durch einen weiten Meeresraum solche Vorkommen getrennt finden, so werden wir geneigt sein, über dieses Areal hinüber ein Festland alter Zeit zu rekonstruieren. Ein solcher Fall liegt für Südafrika, Indien und Südamerika vor, wo die paläozoischen terrestren Formationen zum Teil an den Meeresrändern plötzlich abschneiden und in gleicher Weise mit dem gleichen Gesteinshabitus und denselben Landpflanzen drüben wieder anstehen. Man hat daraus das Gondwanaland rekonstruiert (vgl. Kapitel II, S. 29/30). Koken macht aber darauf aufmerksam[1]), daß die Sporen von Farnen und Lycopodialen, also Vertretern jener Gruppen, die in jenen Festlandsablagerungen vorkommen, durch den Wind sehr leicht und auf sehr weite Entfernung verschleppt werden. Wenn daher Inseln in nicht zu großem Abstande vorhanden waren, konnten auch Meere die Ausbreitung solcher Formen nicht hindern. So zwingt auch das Auftauchen von Glossopteris an verschiedenen Stellen nördlich von Indien bis zur Dwina, obwohl ein Ostwestmeer die Nord- und Südkontinente trennte, nach Koken nicht zur Konstruktion einer zusammenhängenden Landbrücke.

Die Frage ist nur, ob jedes Auftreten gleicher Formen in entfernten Gegenden das sichere Zeichen einer stattgehabten Wanderung in irgend einer Weise sein muß?

Die „Gattung" Equus hat sich in der alten und neuen Welt, wie durch die Untersuchungen von Cope, Depéret und durch die Darlegungen von Schlosser[2]) als sichergestellt zu gelten hat, wohl aus Hipparion-ähnlichen Stammformen entwickelt, und in der alten Welt selbst scheint die Umwandlung älterer, mehrzehiger Vorläufer in der Richtung auf den Pferdetypus selbst wieder auf mehreren Linien — wenn auch nicht mit vollem Erfolge — vor sich gegangen zu sein, weil weder die meisten pliocänen Hipparionarten, noch das Anchitherium (Miocän und Pliocän) in die Stammreihe des europäischen Equus sich einfügen lassen. Letzten Endes mag nach Schlosser die ganze altweltliche Pferdereihe von Amerika herübergekommen sein, und daraus sehen wir, daß die Identität von Formen höchstens einen Schluß auf das ehemalige gemeinsame Entstehungszentrum ihrer andersartigen Ahnen, nicht aber auf die Verbindung der Regionen zu ihrer Zeit erlaubt.

Zu ganz der gleichen Erwägung gelangte Steinmann bei der Erörterung der Phylogenie der Süßwasser-Unioniden[3]). Diese zerfallen in mehrere natürliche Gruppen, die sich als getrennte Linien in ältere mesozoische Trigoniiden zurückverfolgen lassen. So ist z. B. die Überleitung der Gruppe der Costatae in eine andere jüngere erfolgt durch

---

1) Koken, E., Indisches Perm und die permische Eiszeit. N. Jahrb. f. Mineral. etc., Festband, Stuttgart 1907, S. 522.

2) Schlosser, M., Die fossilen Säugetiere Chinas, nebst einer Odontographie der rezenten Antilopen. Abh. Königl. Bayer. Akad. Wiss., II. Kl., Bd. XXII, 1. Abt., München 1903, S. 85, 86.

3) Steinmann, G., Die geologischen Grundlagen der Abstammungslehre. Leipzig 1908, S. 99—119.

Digitized by Google

gleichsinnige Umbildung zahlreicher, vielleicht aller Arten derselben; mehrere Gruppen der marinen Trigonia sollen so auf mehreren Linien in die jüngere Unio hinüberführen. Wenn man auch, wie überall in der Paläontologie, über keine schematisch streng geschlossenen morphologisch-genetischen Reihen hierbei verfügt, so ist es doch ersichtlich so, daß jeweils die neue Gattung aus der älteren, wie STEINMANN sagt, nicht durch Abspaltung einer Art aus der älteren entsteht, sondern durch gleichsinnige Fortbildung zahlreicher Arten. Diese Erkenntnis veranlaßt ihn zu folgender Bemerkung über die tiergeographische Bedeutung des Vorkommens der aus dem Meere in das Süßwasser übergegangenen Unionidenstämme. „Es ist allgemein üblich, morphologisch nahestehende Arten von Süßwasserbewohnern als aus einer Wurzel hervorgegangen zu betrachten und dementsprechend die Wanderungen festzulegen, die sie gemacht haben müssen, bis sie sich über das jeweilige größere Verbreitungsgebiet ausgedehnt haben. Hiernach konstruiert man den früheren Zusammenhang von Festlandsmassen zu verschiedenen Zeiten. So hat NEUMAYR aus der Verwandtschaft der jungtertiären Unionen Europas mit den heute in China lebenden auf eine Wanderung quer durch Asien geschlossen; v. IHERING benutzte die Ähnlichkeit zwischen den Unionen Brasiliens und Afrikas, um die Ansicht zu vertreten, daß beide Gebiete noch zur älteren Tertiärzeit eine gemeinsame Festlandsmasse gebildet hätten; AMALITZKY läßt die permischen Unionen auf einem Festlande von Rußland nach Südafrika wandern, um das gleichzeitige Vorkommen außerordentlich ähnlicher Formen in beiden Gebieten zu erklären. Nach meiner Auffassung sind solche Schlüsse nicht zulässig. Denn wenn eine bestimmte Trigonidengruppe ein weites Verbreitungsgebiet in den Meeren der Vorzeit besaß und an verschiedenen Orten in's Süßwasser gedrängt wurde, so müssen ganz ähnliche, vielleicht gar nicht unterscheidbare Arten von Unionen daraus entstanden sein. Diese beweisen dann aber nicht ohne weiteres den Zusammenhang der Festländer, auf denen sie vorkommen, sondern sie sprechen nur für eine frühe und ausgedehnte Verbreitung ihrer marinen Vorfahren."

Ohne uns hier in eine Diskussion der rein deszendenztheoretischen Frage einzulassen, ob eine solche Polyphylie überhaupt noch einen allerersten gemeinsamen und einheitlichen Urahnen voraussetzen läßt, oder ob sie auf reinen Konvergenzerscheinungen niemals irgendwo zusammenlaufender Linien beruht, müssen wir hier auf jeden Fall als Tatsache festhalten, daß eine solche weitgehende Parallel- und Konvergenzentwicklung besteht, ja die Regel zu sein scheint, und daß daher die morphologische Übereinstimmung von Formen in getrennten Regionen streng genommen nur dann paläogeographische Verbindungen zu rekonstruieren erlaubt, wenn wir über deren Abstammungslinien im klaren sind. Da dies vorläufig nur in wenigen Fällen so ist, so muß man bei Anwendung der tier- und pflanzengeographischen Methode stets den einzelnen Fall prüfen und eingedenk sein, daß sie in vielen Fällen zu Trugschlüssen führen wird; freilich ist sie trotz dieser prinzipiellen Bedenken zur Zeit noch unersetzlich und muß leider sogar auf die Gefahr von Fehlschlüssen hin angewendet werden.

Aber selbst wenn wir von einer Gattung oder Form bestimmt wissen, daß sie nicht polyphyletisch, sondern durchaus einheitlich entstanden ist, besteht noch folgende Möglichkeit, die zur Vorsicht in den

Schlußfolgerungen mahnt: Eine Gattung entstand in einem Lande *C* und wanderte von da in ein Land *A*. Die Verbindung zwischen *C* und *A* wurde unterbrochen und dafür eine neue hergestellt zwischen *C* und einem anderen Lande *B*, in das die Gattung nun ebenfalls aus dem Ursitz *C* einwandert. Dann verschwindet diese Verbindung und im Ursprungslande *C* stirbt die Form aus. Sie wird dann nur noch in *A* und *B* angetroffen und doch waren beide niemals direkt und niemals gleichzeitig verbunden. Ähnlich liegt auch der Fall, wo durch eine ehemalige große Ausbreitung gewisser Formen und ihr allmähliches Aussterben diese oder ihre letzten Nachkommen schließlich an weit von einander entfernten und nunmehr getrennten Orten vorkommen, ohne daß man aus diesem Vorkommen auf einen unmittelbaren Zusammenhang der betreffenden Gebiete schließen dürfte. So lebt nach SUPAN[1]) die Gattung Liquidambar jetzt in je einer Art in Kleinasien, Japan und an der atlantischen Seite von Nordamerika, aber in der Miocänzeit auch im übrigen Nordamerika, in Grönland, Mitteleuropa und Italien. Würde man die heutige Verbreitung im fossilen Zustande vorfinden und daraus eine Verbindung zwischen Nordamerika und Asien folgern, so wäre das derselbe Fehler, den wir stets zu machen Gefahr laufen, wenn wir in der Paläogeographie aus identen Arten in getrennten Meeresbecken eine Verbindung konstruieren für die Zeit, in der wir diese Arten finden.

Einen derartigen Schluß, aber umgekehrt, macht z. B. IHERING, wenn er sagt[2]): „SCHLOSSER hat darauf hingewiesen, daß die im europäischen Oligocän vertretenen Theridomyidae ... sich nach Südamerika verzogen haben. Von diesen Nagern sind dürftige Reste in Afrika erhalten, gar keine, weder rezente noch fossile, in Nordamerika. Sie können mithin nicht über Nordamerika eingewandert sein, sondern setzen andere geographische Verhältnisse voraus.“ Hier wird aus dem Fehlen einer fossilen Form ein möglicher Weg in Abrede gestellt, womit gegen die Richtigkeit dieses Schlusses selbst nichts eingewendet werden soll, sondern woran nur die Unsicherheit der tiergeographischen Methode zu zeigen wäre, für die wir zunächst, wie gesagt, allerdings keinen Ersatz haben.

Ich habe bisher, außer STEINMANN nur zwei Autoren ausfindig machen können, die an jener alten Voraussetzung der Tiergeographie zu zweifeln wagten. Der eine ist der Pflanzengeograph BRIQUET[3]), der andere LORENZ, welcher bei der Diskutierung der kambrischen Meeresverbindungen sagt[4]): Aus der beschriebenen „Verbreitung gleicher Tierformen geht die Tatsache hervor, daß zur Zeit des Mittelkambrium eine Meeresverbindung in äquatorialer Richtung um den ganzen Erdball herum bestanden hat. Oder sollte die Möglichkeit bestanden haben, daß eine solche Übereinstimmung der Formen an weit auseinander liegenden Punkten auch ohne eine direkte Meeresverbindung gleichzeitig durch gleichartige Ent-

1) SUPAN, A., Physische Erdkunde, 5. Aufl., Leipzig 1911, S. 869.

2) JHERING, H. v., Archhelenis und Archinotis, Leipzig 1907, S. 73.

3) BRIQUET, J., Recherches sur la flore des Montagnes de la Corse et ses origines. Annuaire Conservat. Jard. Botanique de Genève. 5. Jahrg., 1901, S. 12—119.

4) LORENZ, TH., Beiträge zur Geologie und Paläontologie von Ostasien unter besonderer Berücksichtigung der Provinz Schantung in China. II. Teil. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 58, Berlin 1906, S. 107.

wicklung hervorgebracht worden ist"? Daß Wanderungen überhaupt vorkommen, kann natürlich nicht geleugnet werden und daß dieses Wandern selbst bei festgewachsenen Tieren und Pflanzen gerade durch das aktive oder passive Ausschwärmen von Larven bzw. Samen hervorgerufen und unterhalten wird, ist ebenso gewiß. Es wird ja z. B. wohl kaum zu bezweifeln sein, daß die beobachtete Verbreitung etwa von Littorina litorea an der atlantischen Küste Nordamerikas in einem halben Jahrhundert, oder daß die auffallende Identität der litoralen Molluskenfauna längs der ganzen Westküste beider Amerika von der nördlich gemäßigten durch die äquatoriale nach der südlich gemäßigten Zone auf einem richtigen, teils aktiven, teils passiven Formenaustausch beruht, und man wird hier ruhig aus der Identität der Formen und vieler Arten auf eine Wanderung schließen dürfen. Es wird darum Sache des Paläogeographen sein, von Fall zu Fall die Möglichkeiten und Wahrscheinlichkeiten umsichtig abzuwägen.

Den am Anfang dieses Abschnittes stehenden Satz, daß das Auftreten gleichartiger Organismenformen nicht unbedingt einen direkten Zusammenhang der Lebensbezirke voraussetzen läßt, umkehrend, können wir andrerseits sagen, daß das Auftreten sehr verschiedener, aber gleichalteriger Faunen und Faunenelemente in derselben Fazies nahe bei einander gelegener Gegenden, besonders wenn die einen auch noch etwas altertümlichen Charakter tragen, uns über eine schon früher vor sich gegangene Trennung beider Areale oder über das eventuelle Vorhandensein klimatischer oder geomorphologischer Schranken belehrt, und dieser Schluß ist zuverlässig. Die Scheidung und Eigentümlichkeit der autochthonen australischen Tierwelt gegenüber der asiatischen ist hierfür der beste Beleg.

Es ist verständlich, wenn man sich von Seiten der Pflanzen- und Tiergeographen gegen die Erschütterung des obigen Grundsatzes auch heute noch wehrt; denn damit wird nicht nur der Wert der Tiergeographie bedenklich herabgemindert, sondern eine Komplizierung des Problems statuiert, die im praktischen Falle schwer zu entwirren sein wird. Es geht aber auch hier, wie mit der Deszendenztheorie, die zu wunderlich einfachen Stammbäumen kam, solange sie die Paläontologie nicht befragte, bezw. solange der Paläontologie noch nicht genug Material zur Verfügung stand, um entscheidend im Einzelfalle mitzureden.

Einige Beispiele nachweisbaren früheren Auftretens von Formen bezw. Gattungen an ganz bestimmten Stellen seien hier aufgezählt: Dalmania, eine bezeichnende Leitversteinerung für das Untersilur in Böhmen, gelangt erst während des Obersilur in die nordischen Regionen, wo sie im Untersilur nicht zu finden ist und noch durch die Gattung Chasmops vertreten wird. Ferner erscheinen eine ganze Anzahl von Trilobitengattungen im englischen Silur erheblich früher als im schwedischen, so Calymmene, Trinucleus, Dionide, Aeglina. Im pazifischen Mittelkambrium treten zuerst die ältesten Asaphidengattungen Ogygiopsis, Dolichometopus und Asaphiscus auf[1]). Die Ammonitengattung Protrachyceras tritt in der kalifornischen Trias vergesellschaftet mit Tropites subbullatus auf, während sie in den Alpen nichtmehr in der Subbullatuszone vorkommt. Smith erklärt dies durch die Annahme, daß die Fauna mit Tropites in Nordamerika autochthon gewesen sei

1) Frech, F., Lethaea paleozoica, Bd. II, Stuttgart 1897—1902, S. 93, 91, 59.

Digitized by Google

und erst etwas später von dort nach dem alpinen Europa eingewandert sei, wo bereits Protrachyceras gewesen war und ausstarb, als die Subbullatus-Fauna ankam[1]). Man sieht daraus deutlich, in welchem Circulus vitiosus man sich bewegt, wenn man aus dem Auftreten von Formen in verschiedenen Faunengesellschaften auf Wanderungen schließt und daraus wieder Nuancen in der Altersbestimmung feststellen will. Ein weiteres Beispiel ist das frühere Auftreten der Macrocephalen des Dogger in Südamerika, wo sie schon in einer Fauna erscheinen, die unserem Bathonien entspricht und es dort auch zweifellos ist. Es kann sich aber in diesem Falle sehr gut um eine Konvergenzform zu unserem Macrocephalites handeln, genau wie bei den Oxfordmacrocephalen, die man im indisch-afrikanischen Faunengebiete des oberen Jura antrifft und die man daher nicht verwerten kann, um zu beweisen, daß sich die „Gattung" Macrocephalites dort länger hielt, als sonstwo auf der Jurawelt.

Oft fehlen einzelne Formen in einer Zeitstufe, in welcher anderswo diese Form schon enthalten ist. Wenn dies auf fazielle Gründe zurückgeht, dann ist das etwaige Späterauftreten nicht dadurch verursacht, daß die betreffende Art nur in einem kleinen Zentrum entstand und erst nach längerer Wanderungszeit an dem Orte ankam, wo sie zuerst fehlte; es genügt, anzunehmen, daß eigenartige Lebensbedingungen sie anfänglich in ihrem Erscheinen beschränkten. Für den umgekehrten Fall — Persistieren einer Form an einem Orte, während sie anderswo schon verschwunden ist — mag das allmähliche Aussterben verantwortlich gemacht werden. Nach Benecke geht Harpoceras aalense in Lothringen viel höher hinauf, als in Württemberg, und ist in diesem höheren Horizont sogar noch häufig; das gleiche ist mit Dumorticria-Arten der Fall[2]). Hier von Wanderungen sprechen zu wollen, wäre verkehrt; denn auch das Aussterben der Formen geht nicht universell vor sich, und daher persistieren oft Formen lokal in noch höheren Horizonten, vielleicht, weil sie hier noch länger günstige Bedingungen fanden. So lebt die Ammonitengattung Cardioceras noch im mittleren weißen Jura (Kimeridge) von Rußland, während sie bei uns nur im Untermalm (Oxford) da ist, und Nautilus lebt heute noch im südlichen Pazifik und teilweise im Indischen Ozean, nachdem er früher weltweit verbreitet war. Diese letzteren Erscheinungen haben natürlich bestimmt nichts mit Wanderungen zu tun, von den obigen ist es wahrscheinlich, daß sie uns Wanderungen anzeigen. Man muß aber in allen diesen Fällen, wo man zu der Erklärung durch Wanderungen greift, bedenken, daß es selten identische Arten, sondern nur Gattungen sind, um die es sich handelt, und das muß abermals gegen einfache Wanderungen bedenklich stimmen. Natürlich ist das schwierige Problem damit nicht geklärt, es kann überhaupt nicht von heute auf morgen gelöst werden

Etwas anderes ist natürlich die Mitverschleppung einer bereits vorhandenen Gattung oder einer ganzen Fauna, wenn ein Meer relativ rasch in neue Areale transgrediert, wie ja überhaupt nicht in Abrede gestellt werden soll, daß allmähliche Ausbreitungen durch aktive Beweglichkeit oder passiven Transport stattfinden. Trotzdem kann die

1) Smith, J. P., Geographical relations of the Trias of California. Journ. of Geology, Vol. VI, Chicago 1898, S. 784—786.

2) Benecke, W., Die Versteinerungen der Eisenerzformation von Deutsch-Lothringen und Luxemburg. Abh. d. geol. Spez.-Karte von Elsaß-Lothringen, N. F. Heft 6, Straßburg 1905, S. 503/504.

Digitized by Google

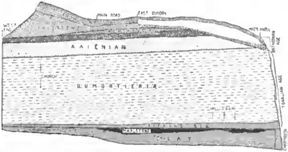
Wahrscheinlichkeit zum mindesten nicht geleugnet werden, daß ähnliche und gleiche Formen sich in getrennten, räumlich weit entfernten Arealen unabhängig von einander entwickeln, und daß Vorsicht in der Anwendung der tier- und pflanzengeographischen Methode stets am Platze ist. Jedenfalls haben die vorhergehenden Erörterungen gezeigt, daß man mit größtem Mißtrauen paläogeographischen Karten begegnen muß, welche rein aus tiergeographischen Beobachtungen heraus Länder und Meere nach Hunderten von Quadratkilometern auftauchen und verschwinden lassen. So betrieben, baut sich die Paläogeographie auf unzuverlässigen Grundlagen auf.

4. Praktische Beispiele paläogeographischer Spezialforschung.

Beispiele aus der Forschungspraxis werden im Folgenden vorgetragen, um zu lehren, wie man die zur Rekonstruktion paläogeographischer Karten dienenden Einzelheiten gewinnt.

a) Meeresbuchten, Ufer, Inseln.

Um eine Küste bezw. einen Strand, der ja auch zeitweise trockengelegter Meeresboden sein kann, zu erkennen, ist dreierlei erforderlich: man muß landeinwärts größer werdende Konglomerate und Gesteins-



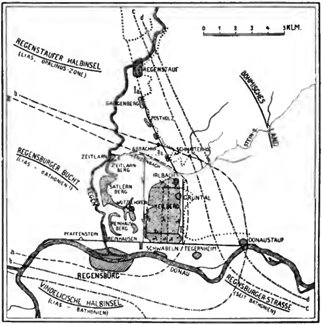
Figur 60.

trümmer finden; oder man muß die Schichten landwärts anschwellen und dann rasch auskeilen, vielleicht auch unmittelbar diskordant auf älterem, auf gestörtem Gestein liegen sehen; oder es müssen in einer im ganzen kontinuierlich und konkordant erscheinenden Serie untergeordnete Diskordanz- und Denudationserscheinungen nachweisbar sein, wie das beispielsweise im Lias des mittleren und südlichen England der Fall ist, wo Buckman und Wilson zwischen Bajocien und Bathonien eine Abtragung der eben erst gebildeten Schichten nachwiesen[1]) (Fig. 60), die offenbar durch zeitweise vorübergehende Trockenlegung des flachen Meeresbodens veranlaßt wurde, während schwächere, fast unmerkliche Diskordanzen auch im Lias schon vorhanden sind.

Zweierlei darf damit jedoch nicht verwechselt werden, nämlich das Auskeilen der Fazies, während das Meer als solches weiterhin

1) Buckman, S. S., and Wilson, E., Dundry hill: its upper portion, or the beds marked as inferior Oolithe in the maps of the Geol. Survey. Quart. Journ. geol. Soc., Vol. 52, London 1896, S. 669—720.

sein Sediment absetzte, wie das Reuter in seiner Arbeit über den fränkischen Jura[1]) durch Schemata veranschaulicht (Fig. 62); zweitens jene Diskordanzen, welche durch ursprüngliche, während der Sedimentation noch vor sich gehende Rutschungen unter Wasserbedeckung entstanden sind, wofür neuerdings Hahn ein Beispiel aus dem nordamerikanischen Silur vorführt[2]). Das einfache Unterbrechen der Sedimentation und die minimalen Erosionserscheinungen, wie sie das hier wiedergegebene englische Profil in seinen basalen Lagen zeigt, lassen auf einen ruhigen Flachstrand schließen; grobe Konglomerate, wie wir



Figur 61.

sie oben von der pazifischen Küste Südamerikas zitierten, und wie sie z. B. im Oligocän des Rheintales zwischen Schwarzwald und Vogesen vorkommen, sowie mehr oder minder aufrechtes Absetzen der Sedimente an älterem Gestein bedeuten eine Steilküste, wofür ja auch die Übergußschichtung mit ihrem Trümmermaterial an den Korallenriffen ein Beispiel ist. Eine Steilküste mag mit Bruder auch dadurch erkannt werden[3]), daß in unmittelbarer Nähe des sichergestellten Landes Tiefen-

1) Reuter, L., Die Ausbildung des oberen braunen Jura im nördlichen Teile der fränkischen Alb. Bayer. Geognost. Jahresh., Bd. XX (erschienen 1908), München 1907, S. 1—118.

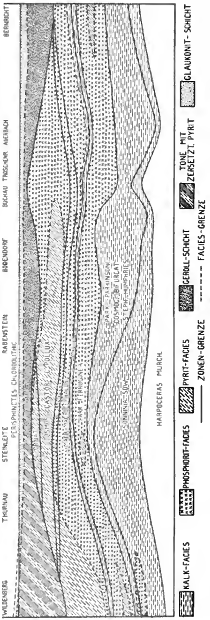
2) Hahn, F. F., Untermeerische Gleitung bei Trenton Falls (Nordamerika) und ihr Verhältnis zu ähnlichen Störungsbildern. N. Jahrb. f. Mineral. etc., Beil.-Bd. XXXVI, 1912, S. 1—41. (3 Tafeln.)

3) Bruder, G., Die Fauna der Juraablagerungen von Hohnstein in Sachsen. Denkschr. math.-naturw. Kl. k. Akad. Wiss. Wien, Bd. L, 1885, S. 248.

Digitized by Google

ablagerungen vorhanden sind.

Das süddeutsche Jurameer[1]) war im Osten begrenzt von der böhmischen Urgebirgsmasse. Gümbel und v. Ammon sprachen von einer einheitlichen böhmischen Landmasse, Neumayr und Bruder von einer böhmischen Insel, die zur Oberjurazeit eine Doppelinsel wurde. Die Unterschiede zwischen germanischer und alpiner Trias hatten ferner schon früher zur Annahme eines „vindelizischen“ Landrückens geführt, den ebenfalls zuerst Gümbel und nach ihm alle Forscher, die sich gelegentlich mit dieser Frage beschäftigten, forderten; zweifelhaft ist nur geblieben, ob diese von der böhmischen Masse herüberstreichende Landzunge den ganzen Jura hindurch bestand. Pompeckj stellte sich nun die Aufgabe, die spezielleren paläogeographischen Verhältnisse, sowie die genaue Begrenzung und Küstenkonfiguration dieses ost- und südbayrischen Jurameeres zu verfolgen.



Figur 62.

Unmittelbare Anzeichen für Küstenbildungen fehlen in dem von Pompeckj untersuchten südostbayrischen Gebiet — vielleicht weil tektonische Veränderungen an der Grenze von Urgebirge und Jura

1) Pompeckj, J. F., Die Jura-Ablagerungen zwischen Regensburg und Regenstauf. Geognost. Jahresh., Jahrg. 14, München 1901, S. 139—220.

Digitized by Google

nachträglich vor sich gegangen sind — und so muß man zu indirekten Anzeichen seine Zuflucht nehmen. „Neben dem Grade der Vollständigkeit in der Schichtenreihe und neben faunistischen Merkzeichen sind es die **Faziesverhältnisse**, welche uns die mittelbare Hilfe für die Rekonstruktion alter Meere leisten. Die Faziesverhältnisse resultieren in erster Linie aus topographischen und orographischen Bedingungen, aus der Konfiguration von Land und Meer, aus Tiefenverhältnissen und Strömungen im Meere; sie werden uns also Rückschlüsse zu ziehen erlauben müssen."

In die böhmisch-vindelizische Landmasse (vgl. Fig. 61) hat zur untersten Liaszeit eine seichte, den Keilberg umfassende „Regensburger Bucht" in ostsüdöstlicher Richtung eingeschnitten (Linie *a*), während den Nordrand die „Regenstaufer Halbinsel" bildete, denn es sind zum Teil sehr grobkörnige Sandsteine, zweifellos aus unmittelbar terrigenem Detritus bestehend und auf den Schichtflächen zuweilen Ausfüllungen von Trockenrissen zeigend — typische Strandablagerungen. Sie sind im Verhältnis zu anderen, mehr oder weniger benachbarten gleichalterigen Vorkommen relativ mächtig, was auf besondere Landnähe und auf ein von Strömungen freies Wasser, also auf eine Bucht deutet, deren Existenz weiterhin dadurch bestätigt wird, daß rings um dieses Vorkommen herum die Liasablagerungen primär fehlen. Daß die Bucht zudem flach war, erhellt aus der Abwesenheit jeglichen groben Brandungsschuttes. In der Arietenzeit wird dieser feinkörnige Sand durch grobe Quarzkörner ersetzt, der uns eine Brandungszone an einer Stelle zeigt, wo kurz zuvor noch eine ruhige flache Bucht die Ablagerung feinen Sandes gestattete; es muß demnach die Ostgrenze des Landes westwärts verlegt worden sein. Dann tritt eine völlige Trockenlegung ein, denn der obere Lias α und das ganze β fehlen und erst mit γ, der Amaltheenzeit, kehrt das Meer in die Regensburger Bucht zurück und erfüllt sie mit tonigen Ablagerungen; in δ zeigt die petrographische und faunistische Fazies eine Tiefe von mindestens 100 Faden an (Linie *b*). Der Zustand bleibt bis ε bestehen, wo mit der Zone des Dactylioceras commune dieses mitteloberliassische Ingressionsmeer vorübergehend nach Westen zurückgedrängt wird und dann eine Zeit der Flachsee im übrigen Teil von Lias ε und Lias ζ folgt.

Eine **Flachsee** kann aus vier Ursachen entstehen. Entweder wird 1. ein Kontinentalrand schwach überflutet, dadurch etwa, daß sich der Kontinent etwas senkt und das Meer von den Randteilen Besitz ergreift; oder 2. dadurch, daß das Meeresniveau aus anderweitigen Gründen die Randzone eines Kontinentes überflutet; oder 3. eine Flachsee entsteht durch Hebung des Bodens eines tieferen Meeres; oder 4. der Meeresboden eines tieferen Beckens bleibt zwar tektonisch stabil, wird aber durch Aufhäufung von Sedimentmaterial allmählich verflacht.

Dieser letztere Fall, daß die sich anreichernden Sedimente das Meerwasser aus einer Region hinausdrängen und so zunächst eine Verflachung, späterhin eine Verlandung eintritt, scheint in der Regensburger Bucht zur Oberliaszeit vorzuliegen. Denn die oberstliassischen Aalensismergel, die sich durch sandige und schieferige Fazies auszeichnen, werden von POMPECKJ so gedeutet, daß sich die feinkörnigen Sedimentstoffe an dem flacher gewordenen Boden weiter in das Meer hinausgeschoben haben, „etwa so, wie heute ein größerer Fluß unter günstigen

Bedingungen des Meeresbodens und passenden Strömungsverhältnissen sein submarines Delta weiter und weiter vorzuschieben vermag, ohne daß sonst wesentliche Veränderungen im ganzen zugehörenden Küstengebiet notwendig sich abspielen müssen".

Im untersten Dogger, zur Opalinuszeit, hatte sich die Regensburger Bucht in ein schlickerfülltes Meer verwandelt, ost- und südwärts verbreitert; es sind überall blauschlammähnliche, an Schwefelkies reiche Tone mit zwischengeschalteten Mergelbänkchen entwickelt. Nun folgt ein schroffer petrographischer Fazieswechsel, und aus dem Schlickmeer der Opalinuszeit wird eine Sandstrand- und Dünenzone. Die Murchisonaesandsteine des Dogger β mit ihrer teils dünenartigen Kreuzschichtung, teils mit Rippelmarken, dazwischen auch mit normal gebankten Sandsteinlagen, offenbaren uns eine zuweilen trockenliegende reine Strandregion. Aber auch auf der liassischen Regenstaufer Halbinsel finden wir jetzt diese marinen Ablagerungen — ein Beweis, daß der Gegensatz zwischen Halbinsel und Bucht zu existieren aufgehört hat.

Die umliegenden Landgebiete müssen damals stark abgetragen gewesen sein, denn die späteren Doggerhorizonte sind höchstens je 10 m mächtig, die Zufuhr terrigenen Materiales muß also beträchtlich eingeschränkt worden sein. Die ganze Keilberg-Regenstaufer Gegend, Halbinsel wie Bucht, lag nach der Murchisonaezeit trocken, so daß der frühere Gegensatz auch nach der Murchisonaezeit erloschen bleibt. Das Meer ist völlig nach Westen zurückgedrängt, und Stranddünen dominieren bis zum Beginn des Bathonien. Als mit dieser Epoche das Meer zurückkehrte (Linie *c*) und i n ihm vorzüglich terrigenes Sedimentmaterial — Sandstein und Schiefer der Varianszone — sich ablagerte, also küstennahe Seichtwasserbildungen, die auch die Macrocephalenzone (Linie *d*) noch zeigt, blieb die Regenstaufer Halbinsel verschwunden. Die alte orographische Grundlage, der sich bei allen sonstigen Schwankungen das Lias- und Unterdoggermeer immer wieder anbequemt hatte, weicht nun einer neuen. Der Zusammenschluß der vindelizischen Halbinsel mit der böhmischen Masse wird südostwärts durchbrochen, es entsteht eine M e e r e n g e, die „Regensburger Straße", die in's polnische Doggermeer hinüberführt. Damit ist die vindelizische Halbinsel zur Insel geworden, und zugleich beginnt ein allmähliches Zurückdrängen ihres Nordufers nach Süden.

Im Malm ist der rasche Fazieswechsel, den wir in Lias und Dogger beobachten, einer gewissen Stabilität der Verhältnisse gewichen, die sich durch ziemlich gleichartig bleibende küstenfernere Kalkschlammablagerungen dokumentiert; die Küste muß also gegenüber der Lias- und Doggerzeit weiter nach Osten und Süden weggeschoben worden sein. Wenn auch die sonst im schwäbisch-fränkischen Malm herrschende Schwammfazies, die immerhin auf ein tiefes Stillwasser deutet, bei Regensburg nicht vertreten ist, so gibt sich doch, wie aus dem petrographisch-faunistischen Charakter der Malmsedimente unmittelbar zu entnehmen ist, auch hier gegenüber dem Dogger und Lias ein Tieferwerden des Meeres zu erkennen, und aus dem erwähnten Kalkreichtum der dortigen Malmschichten, wie aus der Abwesenheit rein terrigenen Sand- oder Schlammmateriales folgt die geringe Beeinflussung der Sedimentbildung vom Lande, also dessen größere Entfernung. Die genaue Lage der Küstenlinie läßt sich im Malm nicht mit derselben Sicherheit angeben, wie die des Lias- und Doggermeeres; sicher ist nur, daß auch die im Bathonien zum erstenmal eröffnete Regensburger Straße tiefer

und breiter wurde. Es ist ferner höchst wahrscheinlich, daß das seit dem Muschelkalk bis in's Bajocien hinein als Halbinsel existierende, im Bathonien zur Insel gewordene vindelizische Land, welches auch noch das schwäbische Doggermeer im Süden begrenzte, nun mit dem Malm überhaupt verschwand, und daß eine einheitliche ununterbrochene Meeresbedeckung das fränkisch-süddeutsche mit dem nordalpinen Meere verband.

Man ist, so oft man unsere ostalpinen oberjurassischen Aptychenschichten durchwandert, überrascht von der außerordentlichen Ähnlichkeit vieler ihrer Lagen mit ebensolchen dünnbankigen Gesteinen des Malm in Franken, ja in den höheren (lithographischen) Kalken findet man oft rot und grünlich-grau gefärbte Lagen, die man geradezu mit Aptychenschichten verwechseln kann. Der Gegensatz aber, den Lias und Dogger des süddeutschen und alpinen Jurameeres zeigen, ist in die Augen springend. Hier die Fleckenmergel, die Kieselkalke, die roten Adnether, die Brachiopoden- und Echinodermenkonglomerate der Hierlatzfazies, während der Malm mit seinen Kalken, Hornsteinschlieren und -Bänken und seinen plattigen reinen Kalken hier wie dort große Übereinstimmung zeigt, so daß wir auch von diesem Standpunkt aus Pompeckj's Schlußfolgerungen nur beistimmen können, zu denen auch Uhlig, von anderen Erwägungen ausgehend, neuerdings gelangt ist, wenn er ein vindelizisches Land zur Oberjurazeit ablehnt[1]).

Auch die Verteilung von feuchtigkeitsliebenden Pflanzen kann gelegentlich ein Mittel abgeben, auf die Nähe einer Meeresbucht oder eines Meeresarmes dort zu schließen, wo nachgewiesenermaßen ein ausgedehntes Festland lag. So konstruiert Koken auf seiner permischen Eiszeitkarte[2]) eine im Bereich des heutigen Indischen Ozeans gegen den afrikanisch-indischen Kontinent hin eingreifende Bucht, weil bei Tanga eine Glossopterisflora entdeckt ist, deren Vorkommen im Inneren eines Festlandes, wo kontinentales Klima herrscht, nach dem, was wir von der Biologie der Glossopterisflora wissen, ausgeschlossen erscheint.

Das Vorstehende zeigt, wie man die spezielle paläogeographische Konfiguration einer Küstenregion, wie man Buchten, Landzungen, Meerengen und Strandcharakter etwa herauszuarbeiten vermag. Wenn man I n s e l n, wie die vindelizische, auch in erster Linie wohl dadurch nachweist, daß man das Auskeilen der Sedimente mit einer Küstenfazies in der Richtung des vermuteten Landkomplexes dartut, so gibt es, wenn solche aus der betreffenden Zeit fehlen, noch ein indirektes, allerdings unsicheres Verfahren. Man kann annehmen, daß ein in der unmittelbar vorhergehenden Zeit nachgewiesenermaßen höherer Landkern in der folgenden transgressiven Epoche mindestens noch einige Zeit lang insular bleiben wird, wenn rings herum die orographisch niederen und flacheren Gebiete schon überflutet sind. Umgekehrt werden zuweilen, nicht immer, vorherige Inseln später die höheren Stellen eines aus dem Meere emportauchenden oder von einem regredierenden Meere trockengelegten Landes sein.

Auf eine sehr originelle Art verfolgte Hyde den Verlauf der Küste

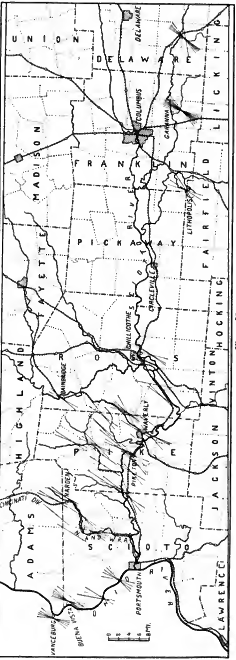
1) Uhlig, V., Die marinen Reiche des Jura und der Unterkreide. Mitteil. Wiener Geol. Ges.. Bd. IV, 1911, S. 364.

2) Koken, E., Indisches Perm und die permische Eiszeit. N. Jahrb. f. Mineral. etc., Festband, Stuttgart 1907, S. 526.

Digitized by Google

aus der Richtung der Rippelmarken in der karbonischen Mississippian-Formation von Ohio über ein Areal von 115 Meilen nordsüdlicher Länge und 20 Meilen ostwestlicher Breite. Sie zeigen (Fig. 63) einen auffallenden Parallelismus in nordwest-südöstlicher Richtung, den HYDE auf die Regelmäßigkeit der Wellenbewegung zurückführt[1]) und diese hinwiederum auf den Verlauf der Strandlinie, die somit in jener Periode dort ungefähr ostwestlich verlaufen sein muß, so daß eine sonst vorhandene nordsüdliche Küstenlinie damals nicht in Erscheinung trat.

Die Flachheit der Küsten läßt sich auch aus der Feinheit der Sedimente erweisen. Nach POMPECKJ deuten die feinsandigen Angulatenschichten des unteren Lias in Franken auf eine allgemein flache Küstenregion hin, sonst müßte auch grobes Geröll an ihrer Zusammen-



Figur 63.

1) HYDE, J. E., The Ripples of the Bedford and Berea formations of Central and Southern Ohio, with notes on the paleogeography of that epoch. Journ. of Geol., Vol. XIX, Chicago, 1911 S. 257—269.

setzung teilnehmen, und dasselbe mag z. B. auch für das halb und halb terrestre und aestuare Jurasystem Neuseelands gelten, wo Sandsteine und Tonschiefer mit Landpflanzenresten und wenigen Marinfossilien vorkommen. Das Material zu diesen Ablagerungen wurde anscheinend von großen stillen Strömen aus einem nördlich und westlich vom heutigen Neuseeland liegenden Lande herbeigeschafft und in den flachen lagunären Küstenniederungen abgesetzt. Sind vollends in solchen rein terrigenen Sedimentmaterialien durch Kreuzschichtung und einen Wechsel von feinerem und gröberem Material Deltabildungen zu erkennen, so kann damit die Stelle der Flußmündung ziemlich genau bezeichnet werden. Hierüber Näheres im folgenden Abschnitt.

Ein Beispiel des Nachweises von Klippen im Silurmeer führt Wiman aus Schweden vor[1]). In Jemtland beobachtet man verschiedentlich das diskordante Anlagern eines Brandungskonglomerates an Urgebirge, und dieses Konglomerat geht seitlich alsbald in den Orthoceren- und Chasmopskalk über, an den Urgebirgsklippen selbst aber sieht man, wie deren Gestein im Verwitterungszustand in das marine, jedoch noch aus unabgerollten Elementen bestehende Konglomerat übergeht, das seinerseits ein kalkiges Zement erhält und durch dessen Anreicherung und schließliches Überwiegen in dem Orthocerenkalk aufgeht, der dann nur noch ganz vereinzelte Trümmer führt.

b) Deltabildungen.

Als Beispiel einer ausgedehnten großartigen Deltabildung führt Grabau gewisse Untersilurbildungen des östlichen Nordamerika an[2]), deren Verständnis das Schema aus Grabau (Fig. 38, S. 197) vermitteln kann. Von der Appalachenregion west- bezw. nordwestwärts kann man auf dem Areal der Staaten Pennsylvanien und New York drei Hauptfazies des oberen Untersilur unterscheiden: eine konglomeratig-sandige, eine schieferige und eine kalkige. Der Typus der ersteren, das Bald Eagle-Konglomerat, besteht aus vielfarbigen Sandsteinen mit zwischengeschalteten Geröllagen fluviatil-terrestrer Herkunft und geht an manchen Stellen nach oben und unten in die Martinsburg-Schiefer, eine ehemalige dunkle Schlammablagerung über. Sie sind unter wechselndem Namen ihrerseits wieder mit der gebankten Fazies des kalkigen Hochuntersilur (Trentonkalk etc) seitwärts verknüpft.

Die typischste und reichste Entwicklung des Bald Eagle-Konglomerates liegt in Zentralpennsylvanien, wo es eine Mächtigkeit von 1300 Fuß erreicht und auf den Martinsburgschiefern liegt, die es zum Teil faziell ersetzt und die 700 Fuß mächtig sind. Der Übergang vollzieht sich so, daß der obere Teil der Martinsburgschiefer einige schlecht fossilführende Kalke enthält, darüber folgen sandige Schichten, die sich aufwärts immer mehr anreichern, konkretionär werden, bis die Schieferlagen ganz verschwinden. Eine rote Lage erscheint oben in der Serie, unten dagegen ist die rote Farbe selten. Gehen wir von dieser zentralpennsylvanischen mächtigsten Entwicklung der Bald Eagle-Formation 30 Meilen nach Nordosten, so vermindert sich die zuerst, wie angegeben, über 1000 Fuß betragende Mächtigkeit auf die Hälfte,

1) Wiman, C., Eine untersilurische Litoralfazies bei Locknesjon in Jemtland. Bull. geol. Inst. Upsala No. 8, Vol. IV, Part. 2, 1899. (Zitat und Inhaltsangabe nach Frech, Lethaea, Bd. II, S. 70, Ergänz.)

2) Grabau, A. W., Early paleozoic delta deposits of North America. Bull. geol. Soc. America, New York 1913, Vol. XXIV, S. 399—528.

Digitized by Google

550 Fuß. Diese Verminderung kommt zustande durch das allmähliche schrittweise Ausfallen der unteren Lagen, wobei es zu einer übergreifenden Lagerung der oberen kommt, wie sich aus der Verfolgung der roten Horizonte ergibt. Die oberen Lagen bestehen meist aus graugrünem Glimmersandstein mit eingeschalteten grünen Schiefern, während der untere Teil ein harter grauer Sandstein ist. Die Formation hat sich also von der Stelle ihrer größten Mächtigkeit aus nicht nur in ihrem Vertikalausmaß vermindert, sondern auch ihren Habitus verändert. Noch weiter nordöstlich nimmt sie zunächst nicht wesentlich ab, dann aber ist in der Lycoming County schließlich die ganze Formation auf 75 Fuß eines harten Sandsteines reduziert und hier, wie auch sonst liegt sie immer auf den Martinsburgschiefern, die in der Nähe jeweils aus Schiefern und Sandsteinen bestehen. Wir gehen nun vom oben bezeichneten Mächtigkeitszentrum aus südwärts und finden auch nach dieser Seite die Bald Eagle-Formation ebenso rasch abnehmend, wie nordostwärts. In der Südfortsetzung des Bald Eagle-Rückens, von dem sie ihren Namen hat, ist sie nur noch durch einen 100 Fuß dicken Sandstein repräsentiert. Wenden wir uns östlich, so fehlt das Bald Eagle-Konglomerat am Susquehannafluß im Blue Mountain-Rücken nur durch Erosion, war also früher vorhanden; südwärts (in der Perry- und Franklingegend) fehlt es primär, hier sind nur Martinsburgschiefer entwickelt.

Im Staate New York liegt nun auf der Martinsburg-(Hudson River-)Serie der Oswego-Sandstein, der bei Niagara 75 Fuß mächtig ist; westwärts scheint er zu verschwinden. Am Ostende des Ontario-Sees und am Salomon-River tritt er ebenfalls auf und wird über 100 Fuß mächtig. Er liegt unter silurischen Schiefern der Lorraine-Group, in die er übergeht. Unregelmäßige Schichtung, Tonschieferlinsen geben sich als in Sand eingebackene Schlammablagerungen zu erkennen. Der Oswego-Sandstein ist mit dem Bald Eagle-Sandstein und -konglomerat identisch und zwar mit dessen jüngsten Teilen, da die Lorraine Group noch über dem Trentonkalk liegt, der seinerseits der Hauptmasse der Bald Eagle-Formation entspricht. So haben wir, zusammengefaßt, eine in Zentralpennsylvanien mächtig angeschwollene, nach Süden und Nordosten dünner werdende Anhäufung terrestrisch-fluviatilen Materiales, das nicht überall das gleiche Alter besitzt, sondern in Zentralpennsylvanien am frühesten beginnt und in New York zuletzt als eine verhältnismäßig schwache Sandsteinformation auf untersilurischen Schiefern liegt, die ihrerseits dort am mächtigsten sind, wo die Sandsteinformation teilweise oder ganz fehlt.

Von wo stammt das Material? Die Frage beantwortet sich alsbald nach zwei Gesichtspunkten: nach dem Gesteinscharakter der Formation und nach dem An- und Abschwellen der Mächtigkeit. Das Gesteinsmaterial besteht aus fast reinem Quarz, der letzten Endes aus einer quarzführenden krystallinen Formation kommen muß. Hierfür kommen in Betracht der kanadische Schild, die Adirondacks und die Appalachen. Gegen die Herkunft von den beiden ersteren spricht, was den Oswego-Sandstein betrifft, die feine Sortierung des Materials; denn käme dieses aus einer nahegelegenen Quelle, dann müßte es bunt durcheinandergewürfelt und mehr unsortiert sein. Gegen die Herkunft von den Adirondacks aber spricht entschieden der Umstand, daß gerade in der unmittelbaren Nachbarschaft der Sandsteinformation zur jüngeren Untersilurzeit Trentonkalk in dieser Region abgelagert

Google

wurde und heute zum Teil noch direkt auf dem Krystallin liegt und, soweit er fehlt, nachweislich nicht vor dem Ende der Silurzeit abgetragen wurde. Ebenso waren die für die eventuelle Materiallieferung in Betracht kommenden Teile des kanadischen Schildes überdeckt. So bleibt nur der alte appalachische Rücken als Quelle der Sandsteine übrig, und das Bald Eagle-Konglomerat mitsamt dem Oswego-Sandstein muß eine zusammenhängende Formation bilden. Nun ist klar, daß das Material umso gröber und mächtiger sein muß, je mehr wir uns seinem Ursprung nähern, und gerade das ist mit der Bald Eagle-Formation unter der Voraussetzung einer appalachischen Herkunft der Fall. Die Quelle liegt in Zentralpennsylvanien und die Sandsteinbildung greift dort, wo sie am wenigsten mächtig ist, in New York, als Oswego-Sandstein am weitesten über die Schieferserie hinüber.

So stellt sich die Bald Eagle-Formation als eine am Ende des Untersilur abgelagerte grobkieselige und sandige Deltabildung, zum Teil subaërischer, zum Teil subaquatischer Herkunft dar, die von einem breiten Strom aus einem alten Lande von Südosten her in das ordovizische Meer abgesetzt wurde. Die Mündung dieses Stromes lag in der Nachbarschaft von Tyrone, wo sich die größte Mächtigkeit zeigt. Von da nach Nordosten, Nordwesten und Südwesten findet das Auskeilen statt. Die stromaufwärts liegende Partie dieses Deltas wurde teilweise durch Erosion wieder entfernt, oder tektonisch verhüllt. Andere ähnliche Ströme verursachten auch in den unmittelbar vorhergehenden Zeiten und wohl auch später noch ähnliche Deltabildungen. Die Ausdehnung des Bald Eagle-Deltas muß wohl mit der des Hoangho in China gewetteifert haben. Rechnet man die appalachischen Falten mit ein, so beträgt die Distanz zwischen dem östlichen Ausstrich bis zum Verschwinden im Nordwesten mehr als 200 Meilen; dazu den Betrag der nachträglichen Einschränkung durch die frühobersilurische Erosion, so bekommt man einen Radius des Deltafächers von 250—300 Meilen. Das Delta scheint übrigens sehr lang und relativ schmal gewesen zu sein.

Süßwasserseefazies in Verbindung mit vulkanischen Ausbrüchen, durch welche die reiche, in der Umgebung der Seen lebende Tierwelt zuweilen vernichtet wurde, bis wieder nach Erlöschen der vulkanischen Gewalten Neubesiedelungen der Gegenden stattfanden, läßt sich aus den Profilen der nordamerikanischen alttertiären Säugetierformationen rekonstruieren. Die mitteleocäne Bridgerformation[1]) der mittleren Vereinigten Staaten besteht nach Matthew aus einer 60 Meilen langen und 40 Meilen breiten Ablagerung von Tuffen, die unter allmählichem Übergang in eine darunterliegende Fazies von limnischen und lakustrinen Schichten übergehen. Die Mächtigkeit beträgt ungefähr 1800 Fuß. Die Tufformation besteht aus einem Wechsel von sandigen, tonigen und schieferigen Lagen mit gelegentlich eingebetteten, nur höchstens wenige Fuß mächtigen Kalkschichten, die Süßwasserkonchylien führen. Nach unten reichern sie sich an und gehen in die schon genannten basalen Kalkschiefer (Green-Formation) über. Die gröberen tuffigen Lagen sind unregelmäßig, zum Teil kreuzgeschichtet und keilen daher immer wieder aus, wogegen die Kalkzwischenlagen konstanter sind. Im oberen Teil der Serie stellen sich vulkanische Aschen ein und

1) Matthew, W. D., The Carnivora and Insectivora of the Bridger bassin, middle eocene. Mem. Americ. Mus. Nat. Hist. Vol. IX, Part. VI, Washington 1909, S. 295—297; 304—307.

Google

auch alle Lagen außer den Kalkschichten sind aus solchen entstanden; auch die typischen, nicht umgelagerten Tuffe reichern sich nach oben an. In der basalen Serie sind Landsäugetiere rar; hier treten Krokodile, Fische, Süßwassermollusken reichlich auf. An der Basis der Tuffmassen aber liegen die Landsäugetiere in großer Menge. ABEL schließt daraus[1]), daß die lakustrine basale Serie, in der Tufflagen nur ganz selten sind, den normalen Lebensbedingungen entsprachen, während die Anhäufung der Säugetiere mit Einsetzen der Tuffmassen auf eine plötzliche Vernichtung der ganzen Fauna hinweist; sie wurden durch einen gewaltigen Aschenfall getötet. Dann setzte wieder die Süßwasserfazies ein und es haben, von erneuten, weniger ausgedehnten vulkanischen Katastrophen abgesehen, Neubesiedelungen aus verschont gebliebenen Gegenden stattgefunden. Im ganzen besteht die Bridgerformation aus fünf Hauptborizonten, die in verschiedener Mächtigkeit aufeinanderfolgen und die oftmalige Wiederholung der vulkanischen Aschenfälle anzeigen, wobei die aufgeschütteten Massen oft fluviatil umgebettet wurden.

Ähnliche Verhältnisse mögen im Spätpliocän und Altdiluvium auch auf Java in der Gegend der berühmten Pithecanthropusfundstätte (Trinil) geherrscht haben, wo nach den Forschungen der Expedition SELENKA[2]) auch vulkanische Ausbrüche und Materialtransporte durch Schlammströme, dann spätere Umlagerungen zu den komplizierten Lagerungsverhältnissen geführt haben, in welchen Säugetierreste vorkommen.

e) Übergänge von Süßwasser- zu Meeresfazies.

LEUCHS beschreibt[3]) aus der Oase Chargeh ein Profil, an dem man den allmählichen Übergang aus der Zeit des terrestren nubischen Sandsteins in das marine Tertiär vorzüglich beobachten kann:

(Zusammenstellung s. folgende Seite.)

Neben der raschen Faziesänderung in vertikaler Richtung zeigen Parallelprofile auch einen raschen horizontalen Fazieswechsel; es ist ferner eine Mischung von rein terrestrisch-fluviatilem und marinem Material und zugleich durch die Gipsabscheidungen ein Beispiel für aquatische Sedimentbildung in aridem Klima. Schicht 1—6 zeigt nach LEUCHS, daß während ihrer Absetzung in einer Lagune durch fließendes Wasser vom Lande her verschiedentlich mit wechselnder Stärke und gelegentlich ganz unterbrochen Sand zugeführt wurde. Mit dem Aufhören der Sandzufuhr ist auch das hereinkommende Süßwasser offenbar versiegt, die Verdunstung überwog, und höchstens Meerwasser drang ein, so daß sich Gips niederschlagen konnte. Nach dieser auf eine wechselnde Intensität der Niederschläge im Lande deutende, mit Schicht 6 endigende Zeit beginnt eine in 7—14 repräsentierte Periode mit vier Konglomeratbänken, die auf einen abermaligen Transportwechsel vom Lande her hinweist, aber gegen 1—6 mit dem Unterschiede größerer Transportkraft der betreffenden fluviatilen Wasser, weil sie anstatt des feineren Sandes grobes Geröll brachten. Die Anhäufungen

1) ABEL, O., Grundzüge der Paläobiologie der Wirbeltiere, Stuttgart 1912, S. 36/37.

2) SELENKA, L. und BLANCKENHORN, M., Die Pithecanthropusschichten auf Java. Geol. u. Paläontol. Ergebnisse der Trinil-Expedition, Leipzig 1911. S. 260—262.

3) LEUCHS, K., Beobachtungen über fossile und rezente ägyptische Wüsten. Geol. Rundschau, Leipzig 1914, Bd. V, S. 23—47.

Digitized by Google

Schicht	Hangendes: oberste marine Kreide und marines Alttertiär.	cm
25	weicher gelbbrauner Kalkmergel mit Exogyren und Fischzähnen	150
24	grünlichgrauer Kalkstein voll Exogyra Overwegi	50
23	gelbbrauner Mergel	40
22	heller Kalkstein	30
21	gelbbrauner Mergel	100
20	heller Kalkstein	80
19	gelbbrauner Kalkmergel mit Limonit, voll Exogyren und Fischresten	25
18	graue Blättertone mit Gipsschnüren, darunter Schuttbedeckung graue Blättertone	ca. 2000
17	purpurrote Schiefertone	ca. 200
16	graue Blättertone, darin oben 50 cm purpurroter Schieferton	ca. 800
15	gelbliche Tone mit großen Linsen von hartem Kalkstein, viel Fischreste	80
14	graubraune Blättertone	100
13	Konglomeratbank IV mit Fischresten	30
12	lichte Mergelbank mit Fischresten	15
11	Konglomeratbank III mit Fischresten	20
10	weiße und bräunliche Mergelbank mit Fischresten, unregelmäßig verbunden mit II	40
9	braune Konglomeratbank II mit Phosphatknollen und Fischresten	75
8	olivgrüne und graue Blättertone mit Gips	100
7	helle bröckelige Konglomeratbank I mit viel Gips und Fischzähnen	7
6	olivgrüne Blättertone mit Gips	20
5	grünlichbrauner Sandstein	3
4	rotbrauner lockerer Sandstein	12
3	olivgrüne Blättertone mit Gips	8
2	grünlichbrauner lockerer Sandstein mit zwei gipsführenden olivgrünen Blättertonlagen	5
1	hellbrauner lockerer Sandstein mit Gipsgängen	100
	Liegendes: nubischer Sandstein und einige Übergangsbildungen	

der Fischknochen und Koprolithen (Phosphatknollen) sollen nach Leuchs auf eine plötzliche und gewaltsame Änderung in den Lebensbedingungen deuten; besonders an der Schicht 11 sei dieser schroffe Wechsel deutlich zu sehen: hier höre der ruhige Absatz von Schlamm aus 10 ganz auf, ein unvermittelter Übergang in grobes Konglomerat trete ein und die groben Körner werden mit solcher Heftigkeit über den eben gebildeten Schlammboden ausgeschüttet, daß einzelne Partien geradezu in den Schlamm eingepreßt werden und darin versinken. Es kommen dann mit Schicht 15—18 Zeiten ruhigen Absatzes, wohl weil inzwischen die Lagunen sich meerartig verbreitert hatten und etwaiges grobes Material nichtmehr dahin gelangte, und von 19 ab ist die rein marine Fazies eingetreten.

Nicht immer ist es so einfach, festzustellen, ob eine Ablagerung mariner oder terrestrer Entstehung ist. Heute noch ist unentschieden, ob der Buntsandstein der germanischen Trias zur einen oder anderen dieser Ablagerungsarten gehört bezw. wie seine einzelnen Teile sich in dieser Hinsicht verhalten. Schon die Tatsache, daß der untere Bunt-

sandstein[1]) in vielen Gegenden Deutschlands konkordant aus dem Zechstein hervorgeht, zeigt, daß eine Verflachung des Meeres eintrat, was auf eine beginnende Trockenlegung hinweist. Die im unteren Buntsandstein vielfach zu beobachtenden Tongallen und vor allem die Rogensteine sprechen (vgl. S. 221) für fluviatile bezw. limnische Entstehung, nicht für marine. Trockenrisse, Wellenfurchen, Regentropfeneindrücke zeigen direkt trockenliegenden Boden, während tonige Letten wohl Seeabsätzen entsprechen dürften. Da in Westdeutschland jenseits des Rheins und im südlichen Schwarzwald der untere Buntsandstein fehlt, so nimmt ANDRÉE an, daß hier zu dieser Zeit noch Abtragung und Abtransport stattfand und von hier das Material nach dem nordöstlich gelegenen Zentrum fortgeführt wurde. Der mittlere Buntsandstein besteht aus sehr grobem Material, und in dem Maße als die limnischen Letten zurücktreten, stellen sich dafür zwischen den groben Sanden Konglomerate ein. Vielfach herrscht die Anschauung vor, daß solche Konglomeratmassen nur als marine Küstenbildungen denkbar seien. Das bekämpft ANDRÉE auf das Entschiedenste. „Die Annahme läuft allem, was wir über die Sedimentation im Meere wissen, direkt zuwider. Überall bildet solch' grobes Material an den heutigen Küsten nur wenig breite Streifen, die nach ganz kurzen Strecken, wobei es sich um Bruchteile von hundert Metern handelt, in immer feiner werdende Sande übergehen. Abgesehen vom Eistransport (und dem Transport durch Tiere), gibt es im Meere keine Möglichkeit der Verfrachtung so großer Mengen von Geröllen auf hunderte von Kilometern Entfernung, wie wir sie in den fraglichen Ablagerungen finden.“ Sehr wichtig ist der von ANDRÉE auch gegebene Hinweis auf die Beschaffenheit der einzelnen Konglomeratkomponenten. Darunter befindliche eckige Gesteinstrümmer zeigen die charakteristischen Konturen der durch starke Temperaturgegensätze in den Wüsten hervorgerufenen Sprengwirkungen, sowie Windschliffspuren. Das deutet auf einen alsbald mit Trockenheit wechselnden festländischen Wassertransport. Kreuzschichtung im Sandstein selbst kann sowohl äolischer, wie fluviatiler Entstehung sein; ersteres dort, wo reiner, mit Geröllen unvermischter Sand vorliegt, letzters dort, wo sich sonstige als limnisch-fluviatil erkennbare Sedimente, Tone und Konglomerate damit verknüpfen. Ein Analogon zu diesen Verhältnissen bietet das Steppengebiet Turkestans, auch sonstige Wüstengebiete[2]) zeigen es: nach langer Trockenheit setzen Regenperioden oder Wolkenbrüche ein, bilden reißende Flüsse, transportieren die Gesteinstrümmer, sie ganz oder teilweise abrundend, und breiten sie über weite Gebiete aus. Es entstehen in Senken Seen, in denen sich Schlamm und Sand unregelmäßig auskeilend ablagert; und wird die Gegend wieder trocken, dann bläst von neuem der Wind die Sandmassen zusammen und überdeckt die Bildungen des Wassers.

Wie der untere Buntsandstein stellenweise konform aus dem Zechstein hervorging, so gibt es auch einen unmittelbaren, konkordanten Übergang des obersten Buntsandsteines, des Röth, in den Muschelkalk. In Schlesien, wo das Röth transgrediert auf vortriassischem Gestein

1) Für das Folgende wurde u. a. benützt die Darstellung in E. KAYSERS „Lehrbuch der Formationskunde“, 3. Aufl., Stuttgart 1908, S. 319—330. Ferner aus der auf S. 222 zitierten Abhandlung von K. ANDRÉE in „Peterm. Mitteil.“ der Abschnitt über den deutschen Buntsandstein, a. a. O. S. 186—187.

2) Vgl. die anschaulichen Schilderungen in: WALTHER, J., Das Gesetz der Wüstenbildungen in Gegenwart und Vorzeit, 2. Aufl., Leipzig 1912, S. 226—227 u. a.

besteht es aus einer marinen Dolomitfazies mit Muscheln, Schnecken und Ammoniten. Wenn wir daher anderwärts, wie in Thüringen in der ebenfalls zu unterst Marinfossilien führenden oberen Buntsandsteinstufe Gipslager und -schnüre finden, dann dürfen wir annehmen, daß zungenförmige flachere, lagunäre Meeresarme in das bis dahin kontinentale Buntsandsteingebiet einzugreifen begannen, daß deren Wasser nach den auf S. 229 geschilderten Vorgängen unter dem Einfluß des ariden Klimas verdampfte und zu Gipsausscheidungen gezwungen ward, weil dem Meere noch kein allseitiger freier ungehinderter Zutritt gestattet war; richtige Steinsalzlager aber bildeten sich in der Harzgegend. Westlich vom Rhein aber scheint die Festlandsperiode noch angehalten zu haben. Denn hier finden wir den Voltziensandstein mit seinen zahlreichen Pflanzenresten vorzüglich entwickelt. Auch die im Röth Südwestdeutschlands auftretenden quarzigen Carneollagen sind nach Andrée ein Zeichen für terrestre und Lösungsmöglichkeiten, also nicht arides Klima voraussetzende Verhältnisse; darauf weisen ja auch die Pflanzenbestände hin. Mariner Entstehung kann auch der Carneol des Röth nicht sein. „Diagnetische Verkieselungen mariner Kalke sind ja keine Seltenheit. Besonders gern sind oolithische Gesteine davon betroffen worden. Alle diese Vorkommen aber, welche durch Wanderungen der leicht in Lösung überführbaren Kieselsäure von Organismenschalen (Radiolarien, Spongien, Diatomeen) zu erklären sein dürften, zeigen ein ganz anderes Gepräge, als es den Verkieselungen des Buntsandsteines zukommt. Organisch ausgeschiedene Kieselsäure stand im Sedimentationsbezirk unseres Buntsandsteins nirgends zur Verfügung ... auch die Chalcedonsubstanz der Carneolbank an der Basis des Röth muß anderen, anorganischen Ursprung haben, und wir gelangen dazu ... anzunehmen, daß hier ähnliche Erscheinungen vorliegen, wie sie Passarge unlängst im Kalaharibecken entdeckt ... hat.“ Andrée erklärt die dort vorkommende Weiterwachsung von Quarzen, wie auch die Einkieselung der Gesteine durch Chalcedonsubstanz durch „die bei jeder chemischen Verwitterung von Feldspaten freiwerdende, in Lösung gehende Kieselsäure.“

Wenn auch große Teile des deutschen Buntsandsteins somit ganz zweifellos kontinentale Entstehungsbedingungen aufweisen, worauf auch die amphibische Wirbeltierfauna noch hinweist, während die Fische nicht ganz beweiskräftig sind, gibt es doch verschiedene Tatsachen, welche, ganz abgesehen vom Röth, ein zeitweiliges Eindringen des Meeres, vermutlich aus Westen nahelegen. Gervillia, Anoplophora und eine Aucella-ähnliche Form, wie sie im Jura als rein marin bekannt sind, lassen sich wohl nur so erklären, daß vielfach außerordentlich flache und ruhige Meeresinundationen das Buntsandsteingebiet durchzogen, dabei zum Teil von den Sandverwehungen und Fluviatilbildungen ungleichmäßig verdrängt wurden. Ein weiterer Gesichtspunkt spricht für diese Auffassung. Die Triaszeit, und zwar besonders die Buntsandsteinzeit, ist die geokratischste Epoche, die wir bis jetzt für das Gebiet der heutigen Kontinentalmassen kennen. Das Meer hatte sich in die alpinen Geosynklinalregionen der Erde zurückgezogen und selbst dort, wo sonst eine mehr pelagische Fazies am ehesten sich entwickelt, zeigt sich in der unteren Triaszeit ebenfalls eine Flachwasser-, ja zum Teil eine lagunäre Fazies. Ich brauche nur an die Buntsandsteinentwicklung der Nord- und Südalpen, an das Berchtesgadener und Haller Salzgebirge zu erinnern. In Nord- und Osteuropa, in den Dinariden, im

Felsengebirge, im atlantischen Teile Nordamerikas — überall hat sich das Meer zurückgezogen und die pelagische Cephalopodenfazies ist lokalisiert in Nordpersien und im Himalayagebiet. Mir scheint daher, daß der pazifische Ozean das eigentliche offene Triasmeer, vor allem das Untertriasmeer gewesen ist. Auch eine Verbindung der Mediterranregion mit der borealen, welche durch die uralische Senke hindurch in der letzten Hälfte des Paläozoikums bestanden hatte, ist mit dem Beginn der Trias verschwunden.

Noch rätselhafter wird die beschränkte Meeresverteilung, wenn man sieht, daß der hochmarine *Übergang von Perm in Trias*, wie wir ihn im Himalaya und in der Saltrange treffen, *eine große Seltenheit* in den gefalteten Geosynklinalregionen ist, ja daß im ganzen *zirkumpazifischen Gebiete die untere und mittlere Trias fehlt* und erst die *obere* transgressiv liegt. Wenn also, wie daraus hervorgeht, auch in den *Geosynklinalregionen* das Meer flach war, oder sogar verdrängt wurde, so kann ich mir, da doch irgendwo das verdrängte Wasser geblieben sein muß, das nicht anders erklären, als daß außerordentlich dünne Wasserschichten sich über einen großen Teil der Festländer dennoch erstreckten, deren Ablagerungen aber *deshalb* nicht als marin zu erkennen sind, weil sie bei der Flachheit *des Wassers kein Tierleben* bergen konnten und immerzu bald vertrockneten, bald wiederkamen, daß die dabei sich bildenden Sedimente durch die Oberflächenverwitterung, sobald sie trockenlagen, umgewandelt wurden und in terrestre Ablagerungen sich verwandelten. Dieses ewige Hin und Her flachster Meereshäute über offenbar in vielen Teilen flache Festländer, die Mitwirkung stagnierender Wasserflächen, die Mitwirkung der Atmosphärilien, des Windes und der Niederschläge, wie der Sonnenhitze scheinen mir das ganze *Buntsandsteinproblem* wesentlich zu klären. Es wird dann verständlich, warum wir *Trockenrisse* und *Chirotheriumfährten* auf Sandsteinplatten mit tonigem Überzuge antreffen; es wird klar, woher die *Wellenfurchen* und *Geröllagen* kommen; es wird klar, warum *dünenartige*, vom Winde geschaffene *Kreuzschichtungen* auftreten und doch gelegentlich, lokal beschränkt, wieder unverkennbare Zeichen mariner Wirkung und marine Tiere.

d) *Meeresströmungen.*

Es bliebe für die Vervollständigung einer paläogeographischen Meereskarte noch die Eintragung von *Meeresströmungen* übrig, deren Ermittelung ja auch zur Beurteilung biologischer, tiergeographischer und klimatologischer Verhältnisse von äußerster Wichtigkeit ist. „Die Anhaltspunkte zur Bestimmung ihres Verlaufes in geologischer Vergangenheit sind leider schwankend .... Die Meeresströmungen aus der Rekonstruktion ganz auszuschalten, hieße jedoch, ein wichtiges Element gänzlich vernachlässigen. Es scheint mir nach dem heutigen Stande des Wissens nicht unberechtigt zu sein, von der Annahme von Meeresströmungen an solchen Stellen Gebrauch zu machen, wo an einheitlicher Küste ein auffallender Wechsel der Fauna sich vollzieht", sagt Uhlig[1]).

1) Uhlig, V., Die marinen Reiche des Jura und der Unterkreide. Mitteil. Geol. Ges. Wien, Bd. IV, 1911, S. 333.

Digitized by Google

Unter gewissen Umständen bildet auch die Ansammlung von benthonischen Marinorganismen einen Hinweis auf Meeresströmungen. Wo nämlich der Boden durch solche abgefegt ist, siedelt sich oft ein außerordentlich reiches benthonisches Tierleben an, das besonders gedeiht, wenn die Strömungen voller planktonischer Organismen sind, von denen jene leben. Finden wir also fossile Lumachellen ohne Verschüttung mit Sedimentmaterial, so ist damit die Möglichkeit ehemaligen Vorhandenseins von Strömungen gegeben. Übrigens muß bemerkt werden, daß benthonische Organismen, seien sie festgewachsen oder nicht, sehr wohl von Meeresströmungen verfrachtet werden können, nämlich im Larvenzustande. Da aber die Larven nektonisch oder planktonisch sind, so kann man in diesem Falle nicht von der Verschleppung benthonischer Organismen reden, und nur in diesem Sinn dürfte es Semper meinen, wenn er inbezug auf den Nachweis früherer Meeresströmungen sagt: ebenso, wie in der Gegenwart müßte der Verlauf von Meeresströmungen auch in der Vorzeit in Beziehung stehen zur Verbreitung mariner benthonischer Formen[1]). Damit löst sich auch der scheinbare Widerspruch zwischen diesem Satze Semper's und der unten angeführten Argumentation Bósniacki's über das Fehlen benthonischer Organismen in Strömungen des Flyschmeeres. Wenn benthonische Organismen sich aus dem Bereiche einer Strömung zurückgezogen haben, werden unter Umständen auch ihre Larven nicht passiv verfrachtet werden.

Der Nachweis der Herkunft von Sedimenten ist zuweilen enge verknüpft oder identisch mit der Rekonstruktion von Meeresströmungen. So schließt Neumayr aus dem Auftreten von Tonen der oberen Liasstufe in Süddeutschland auf eine an der damaligen Ardenneninsel vorbeistreichende, von Norden nach Süden laufende Strömung, die in dieses Gebiet eindrang und den feinverteilten Schlamm mitbrachte[2]). Denn von Westen konnte er nicht stammen, weil in Frankreich die Tonentwicklung schwächer ist, ebensowenig von der böhmischen Masse, da für Franken im allgemeinen dasselbe gilt, wie für Frankreich. Von der Ardenneninsel konnte er nicht stammen, teils weil das Areal der Insel zu klein war, um solche Sedimentmassen zu liefern, teils weil an ihrem Rande in Luxemburg und Lothringen überhaupt diese Stufen fehlen, also vermutlich dort nichts in's Meer transportiert wurde, so daß bei der außerordentlichen Gleichartigkeit der Sedimente jener Zeit von Norden nach Süden ein einheitlicher Ursprung und somit eine Herbeischaffung von Norden her angenommen werden muß.

Wenn sich auch gegen diese Ausführungen mancher Einwand erheben läßt, wie der, daß gerade das Fehlen von unter-mittelliassischen Ablagerungen am Rande der Ardenneninsel zur Annahme drängt, daß eben von dort das Material stammt und eben durch die Wirksamkeit von Strömungen dort am Absetzen verhindert wurde, so bleibt doch die Wahrscheinlichkeit von Strömungen nach Süden bestehen und illustriert das, was wir oben theoretisch zur Rekonstruktion von Strömungen gesagt haben. Ist man im einzelnen Falle durch bestimmte Anhaltspunkte genau unterrichtet, daß ein Sediment zur Zeit seiner Ablagerung aus einem Material gebildet wurde, das bestimmt nicht

1) Semper, M., Das paläothermale Problem speziell die klimatischen Verhältnisse des Eocän in Europa und im Polargebiet. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 48, Berlin 1896, S. 278.

2) Neumayr, M., Die geographische Verbreitung der Juraformation. Denkschrift math.-naturw. Kl. k. Akad. Wiss. Wien, Bd. L, 1885, S. 83.

autochthon war, so wird man eine verfrachtende Meeresströmung zweifellos annehmen dürfen. So folgert Frech aus dem Auftreten von sedimentären Tuffen eruptiven Ursprungs in der lombardischen Trias, daß westlich gerichtete Strömungen das Material von den im östlichen südalpinen Becken allein aufgetretenen Eruptionszentren hergebracht haben müssen[1]).

Weiterhin wird sich auch unter bestimmten Vorsichtsmaßregeln die lokale Differenzierung von Faunen als ein Charakteristikum für Meeresströmungen ansprechen lassen, vorausgesetzt, daß nicht sonstige Faziesdifferenzierungen den Anlaß zu einer solchen lokalen Verschiedenheit geben, wie sie etwa im Jura durch den auf kurze Entfernung oft wechselnden faziellen Unterschied zwischen gewöhnlicher und zwischen Riff-Fazies vorkommen.

Nach Diener herrscht eine bemerkenswerte Konstanz zwischen einer borealen und äquatorialen Faunenverteilung zu mesozoischer Zeit, eine Konstanz, die in ihren wesentlichen Zügen trotz aller noch so weitgehender Strandverschiebungen in dieser Epoche immer wieder zum Vorschein kommt. In der äquatorialen Zone selbst prägt sich in der Gegend von den Antillen zu den Anden und im Indusgebiete in meridionaler Richtung wiederum je eine speziellere tiergeographische Grenze aus, und da hierbei von trennenden Landbarren kaum die Rede sein kann, so ist man wohl berechtigt, auf wechselnde Meerestiefen oder auf große ostwestliche Meersesströmungen zu schließen, die sich in den Grenzregionen begegneten[2]).

Sedimentationslücken, die nicht mit einer Trockenlegung zusammenhängen, können vielfach als verursacht durch Meeresströmungen gedeutet werden und ermöglichen somit einen Rückschluß auf solche (vgl. S. 311). Nicht nur Lücken an und für sich, sondern auch das Auskeilen oder das richtige diskordante Aufliegen von Schichten auf älterem Gestein kann zum Nachweis von Meeresströmungen verwendet werden. Ein derartiges Beispiel ist S. 315/316 beschrieben, und es wäre nicht ausgeschlossen, daß viele als Transgressionen gedeutete Vorkommen eher als Abwaschungen durch Meeresströmungen angesprochen werden dürfen.

Man kann diese Erscheinung somit dahin auslegen, daß die diskordante Auflagerung auf einen submarin anstehenden Rücken mit Hilfe von Meeresströmungen erfolgte. Einen anderen, stratigraphisch sehr ähnlichen Fall wird man indessen kaum so deuten dürfen. Das Obersilur des Timangebirges in Nordrußland ist von reinen, zum Teil korallinen Kalken gebildet, und dieser reine Kalk liegt unvermittelt diskordant auf Urgebirge[3]). Man kann nun annehmen, daß die Fläche, als sie mit Beginn des Obersilur unter das Meer sank, rasch durch die Brandung abgespült wurde und daß sich auf diesem rein gewaschenen, von allem terrestren Verwitterungsschutt befreiten Grunde rasch Korallen ansiedelten, aus deren Detritus teilweise die nichtkorallinen Kalke gebildet wurden, wozu auch benthonische Tiere beitrugen. Das obersilurische Kalksediment ist hier also autochthon, wie aus den Korallenbauten

1) Frech, F., Die Trias der Zentralalpen und der Lombardei. In: Lethaea geognostica. Teil II. Das Mesozoikum. I. Band: Trias, Stuttgart 1903—1908, S. 397.

2) Diener, C., Über die Konstanz einiger Hauptgrenzen der marinen mesozoischen Reiche. Mitteil. Geol. Ges. Wien 1912, Bd. V, S. 13—19.

3) Lebedew, N., Die obersilurische Fauna des Timan. Mém. Comité géol., Tome XII, No. 2, St. Petersburg 1892.

hervorgeht, aber es könnte sehr wohl sein, daß an der Abwaschung des terrestren Detritus unmittelbar vorher, als das Land untersank, Meeresströmungen beteiligt waren, weil die Brandung allein eher ein Transgressionskonglomerat geschaffen hätte. Andrée nimmt an[1]), daß vielfach in derartigen Fällen, wie dem eben zitierten, wo zwar Sedimentationslücken vorhanden sind, Konglomeratbildungen aber fehlen, zu der den fehlenden Horizonten entsprechenden Zeit eine Sedimentation an Ort und Stelle in dem Sinne unterblieb, daß infolge heftiger, sehr tief gehender Wasserbewegung das niedersinkende Material zu ruhigem Absatz nicht gelangen konnte, sondern immer wieder aufgewirbelt und von Strömungen fortgeführt werden konnte; man wird daher aus Profilen mit starken Diskordanzen nicht immer ohne weiteres eine Transgression des flüssigen Elementes über Landflächen herauslesen dürfen. Wie man sieht, sind also die Möglichkeiten, auf Meeresströmungen zu schließen, außerordentlich mannigfach.

Auch das Gegenteil einer Abwaschung von Sedimenten, nämlich deren besondere Dicke, wenn sie im Einzelfalle durch Landnähe nicht erklärbar ist, oder besonders dann, wenn ringsherum landwärts dasselbe Sediment sogar weniger mächtig ist, könnte durch die beischaffende Kraft von Meeresströmungen erklärbar, und diese hinwiederum könnten aus einem solchen Umstande daher erkennbar sein. So vermutet Neumayr, daß die relativ mächtigen Tone des unteren und mittleren Lias in Schwaben durch eine östlich an der Ardenneninsel vorbeistreichende Strömung herangebracht worden sein müssen, weil sie nur im Norden vorhanden und dort besonders mächtig sind, im Westen, Osten und Süden aber fehlen. Es waren also Ströme des nordischen Jurafestlandes, die den Tonschlamm in's Meer brachten, wo er dann von Meeresströmungen verfrachtet wurde.

Ein Fall, in dem zweifellos trennende Landbarren angenommen werden müssen, verschieden temperierte Strömungen also nicht in Betracht kommen, ist in der von Lebedew beschriebenen eigenartigen Verteilung der Devonkorallen Rußlands[2]) gegeben. Diese sind in den einzelnen synchronen Devongebieten jenes Landes ungleichartig, es lassen sich drei Typen unterscheiden: der westeuropäische, der zentralrussische und der uralo-altaische, die zum Teil durch Anlehnung an verschiedene ausländische Becken, zum Teil durch ein Überwiegen einzelner Formen, zum Teil auch durch völliges Fehlen sonst charakteristischer Formen sich kennzeichnen lassen. Es müssen diese verschiedenen Becken getrennt gewesen sein, weil sonst ein Austausch der planktonisch-nektonischen Korallenlarven hätte stattfinden können, die entweder von Strömungen herumgetragen oder in strömungslosem Wasser aktiv sich und damit ihren Gattungstypus hätten verbreiten können. Es spricht also hier alles gegen Annahme von Strömungen und für trennende, bis über den Wasserspiegel reichende Barren, und man sieht, daß Faunenverschiedenheit selbst in nahebeieinanderliegenden Gegenden bald das eine, bald das andere anzunehmen gestattet und daß nur von Fall zu Fall entschieden werden kann, welche Erklärung die richtigere

1) Andrée, K., Über stetige und unterbrochene Meeressedimentation, ihre Ursachen, sowie über deren Bedeutung für die Stratigraphie. N. Jahrb. f. Mineral. etc., Beil.-Bd. XXV, Stuttgart 1908, S. 392.

2) Lebedew, N., Die Bedeutung der Korallen in den devonischen Ablagerungen Rußlands. Mém. Comité géol., Tome XVII, No. 2, St. Petersburg 1902, S. 137—180. St.

sei. So sagt z. B. Schuchert, es sei nicht notwendig, jede Faunenverschiedenheit in einem offenen Meere sofort durch die Anwesenheit von trennenden Landbarren zu erklären[1]), sondern hierfür könnten auch aneinander vorbeiziehende, verschieden temperierte Meeresströmungen als Ursache in Betracht kommen. Zwei verschiedene Marinfaunen können Seite an Seite in dem gleichen Meerwasser nebeneinander existieren, wie das jetzt an der atlantischen Küste Nordamerikas der Fall ist. Dort lebt auf dem submarinen Kontinentalschelf bis herunter in die Höhe von Nord-Carolina, wo der Schelf beim Kap Hatteras nach Südwesten eine Abbiegung erfährt, eine Kaltwasserfauna im arktischen Strome. Von da ab aber südwärts kommt der warme Golfstrom heran mit seiner eigenen Fauna, und dort, wo sie zusammenkommen, sind die beiden Faunen im freien Wasser deutlich voneinander geschieden.

Es kann ja auch sein, daß sich Landbarren und Meeresströmungen in ihrer Wirkung auf die Verteilung der Marinfaunen gelegentlich kombinieren, nämlich dann, wenn in einem derartigen Falle, wie dem soeben zitierten, sich Halbinseln oder submarine Schelfzungen in's Meer vorschieben, die Strömungen ablenken und gesondert erhalten, so daß auf der einen Seite der Rippe die eine, auf der anderen die andere Fauna existiert.

Damit sind die Möglichkeiten, auf Meeresströme zu schließen, noch nicht erschöpft. Dem Devon des Harz, des sächsischen Vogtlandes, des rechtsrheinischen Gebirges etc. sind vielfach submarine Eruptivgesteine eingelagert. Diese Effusivdecken und Tuffe verhalten sich[2]) nicht nur in tektonischer Hinsicht wie ein Sedimentgestein, sondern auch inbezug auf ihren Inhalt an marinen Fossilien, an deren Auftreten ebensowenig eine Veränderung wahrzunehmen ist, wie in der Konfiguration des Meeresbodens. „Manche aus zersetztem Diabasmaterial bestehende Schichten ... sind hervorragend versteinerungsreich, ohne daß aus der Art des Vorkommens ein massenhaftes Sterben der Meerestiere im Zusammenhang mit den Eruptionen nachweisbar wäre.“ Es liegt in solchen Fällen nahe, anzunehmen, daß die Ausbrüche in größerer Entfernung stattfanden und daß das Eruptivmaterial alsbald aufgearbeitet und von Strömungen auf weite Gebiete hin verteilt wurde, wobei auch teilweise an ein Schwimmen des lufterfüllten tuffigen oder bimssteinartigen Materiales an der Meeresoberfläche zu denken ist.

Unbedingt hüten muß man sich vor einer anderen gelegentlich angewandten Methode zur Rekonstruktion der Meeresströmungen, welche in der theoretischen Ableitung derselben allein aus dem Küstenverlauf auf paläogeographischen Karten besteht und zwar unter Voraussetzung der gleichen Pollage und Breitenanordnung, wie sie heutigentags auf Erden besteht. Nun begegnen zur Zeit noch unsere paläogeographischen Karten starken prinzipiellen Bedenken (vgl. Abschn. 5), und auch bei tunlichst exakter Angabe von Land- und Meeresgrenzen auf solchen können wir nur selten über die Bodenkonfiguration ozeanischer Regionen etwas aussagen, von denen doch gleichfalls der Verlauf der Meeresströme entscheidend beeinflußt ist. Man denke nur an das auf S. 173 mitgeteilte Beispiel von dem Hindernis, das die zirkumpolare subozeanische Schwelle dem Zutritt kalten Tiefenwassers in die abyssische Region des Atlantik bereitet. Aber auch abgesehen

1) Schuchert, Ch., a. a. O. S. 442.
2) Frech, F., Lethaea palaeozoica, Bd. II, Stuttgart 1897, S. 118—119.

Digitized by Google

davon hebt ANDRÉE mit Recht hervor[1]), daß der Verlauf der großen ozeanischen Strömungen nicht durch den Küstenverlauf, sondern auch durch die Lage der Pole bestimmt wird, „von denen wir bisher keineswegs wissen, ob sie nicht im Laufe der Erdgeschichte größere Wanderungen unternommen haben.“ Allerdings ist es nach Analogie der heutigen Verhältnisse von vorneherein wahrscheinlich, daß auch früher den Küsten entlang Strömungen liefen. Doch ist zu bedenken, daß in Zeiten minder großer Gegensätzlichkeit der klimatischen Zonen auch das System der Meeresströmungen auf der Erde minder entwickelt gewesen sein dürfte, wie denn überhaupt diese ganze Frage unmittelbar verknüpft ist mit dem paläothermalen Problem und gelegentlich dessen Behandlung (Kapitel X) noch einmal gestreift werden wird.

Die eigenartige Verteilung der Marinfauna längs der pazifischen Küste der beiden Amerika, wobei die gleichen Arten ununterbrochen durch drei Breiten, die südlich-gemäßigte, die äquatoriale und die nördlich gemäßigte, hindurchgehen, hat ihren Grund in der durch Strömungen gleichartigen Wassertemperatur, und das hängt zweifellos mit dem Küstenverlauf unmittelbar zusammen. So können warme Ströme ebenso wie kalte, in meridionaler Richtung bedeutende Faunenverschiebungen auch in der Vorzeit bewirkt haben. STROMER VON REICHENBACH's Karte der Nummulitenverteilung im Eocän[2]) zeigt einen äquatorialen Ring um die ganze Erde hin und von diesem gehen sie südwärts Ostafrika entlang bis zum Wendekreise des Steinbockes hinunter, während sie an der afrikanischen Westküste so weit nach Süden nicht erscheinen, was STROMER V. REICHENBACH wohl mit Recht dahin deutet, daß sie an der Ostseite infolge der warmen Strömungen aus dem äquatorialen Ring in eine gemäßigte Breite vorzudringen vermochten, während sie sich infolge des kalten Strömungsauftriebes an der Westseite nicht entfalten konnten. Ähnlich gelangten die nördlichen Marinkonchylien im jüngsten Tertiär in das Mediterrangebiet durch kalte Strömungen, die damals offenbar durch die beginnende Vereisung der Nordpolarzone veranlaßt wurden. Das ist aber etwas ganz anderes, als ohne jeglichen sonstigen Anhaltspunkt aus dem Küstenverlauf allein ein System von Strömen zu konstruieren.

Die Benützung von Meeresströmungen zur Erklärung gewisser sedimentpetrographischer und faunistischer Eigentümlichkeiten vorweltlicher Ablagerungen gewinnt ohnehin immer mehr Bedeutung, und umgekehrt wird man daher mit der Zeit der exakteren Konstruktion solcher Meeresströmungen näherkommen. Wie sehr diese in die Ausgestaltung von Ablagerungen im einzelnen eingegriffen haben, zeigt ein sehr schönes, von BÓSNIACKI mitgeteiltes Beispiel über den Karpathenflysch[3]). Der Flysch ist sehr arm an Mollusken, was man ohnehin erwarten muß bei einem in strömungsreichem Areal entstandenen Sedimente; bei allen diesen zeigt sich dagegen ein großer Reichtum an Planktonorganismen, die im Gegensatz zu den benthonischen Tieren leicht

1) ANDRÉE, K., Die paläogeographische Bedeutung sedimentpetrographischer Studien. Peterm. Mitteil, Jahrg. 59, Bd. II, Gotha 1913, S. 189.

2) STROMER V. REICHENBACH, E., Lehrbuch der Paläozoologie, Bd. I, Leipzig 1909, S. 42.

3) BÓSNIACKI, Z., Flisz europejski. Kosmos, Bd. XXXVI, Lemberg 1911, S. 871—899. O flis zu europejskim. Ibid., S. 1139. Nach einem Referat von M. GOLDSCHLAG im Geol. Zentralbl 1912/13, Bd. XVIII, No. 143, 144, dem Obiges entnommen ist.

Digitized by Google

von Strömungen verfrachtet werden (vgl. oben). Diesen planktonischen Organismen folgen die nektonischen Schwimmer, also vorzüglich die Fische, die im dortigen Flysch sehr häufig sind. Die Planktonorganismen lieferten später das Petroleum, als infolge der Hebung des zentralen Karpathenteiles der Flysch von den darüber geschobenen Sedimenten bedeckt und einer Erhöhung des Druckes und der Temperatur ausgesetzt wurde. Die Petroleumbildung, die übrigens auch POTONIÉ aus planktonischen Organismen entstanden deutet[1]), ist also, nebenbei bemerkt, eine umgekehrte Bestätigung für das Vorhandensein von Plankton in dem übrigens auch schalentragende Protozoen vielfach enthaltenden Flysch. Nun treffen im Flysch Fische von typisch nördlichem und südlichem Habitus zusammen und im oberkretazischen Flysch ebensolche Ammoniten. Es müssen nach alledem nördliche und südliche Meeresströmungen zusammengekommen sein. In diesem Zusammenhange zeigt BÓSNIACKI einen Fall, wie faunistische Unterschiede keineswegs durch trennende Barren erklärt werden müssen, sondern durch Strömungen, wenn für die Barren kein direkter Anhaltspunkt gegeben ist. Für die Faunenunterschiede im kretazischen Karpathenflysch und in der Lemberger Kreide haben österreichische Geologen eine schmale trennende Barre gefordert, während BÓSNIACKI auf Grund der notorisch scharfen Trennung, welche Meeresströmungen verschiedener Temperatur in der lithologischen und faunistischen Fazies der Jetztmeere hervorbringen, eben Meeresströmungen für jenen Unterschied in Anspruch nimmt.

Am Ende des Oligocän stellten sich in der westindischen Region große tektonische Bewegungen ein, es erhob sich ein Gebirgszug von Puerto Rico bis Cuba und wahrscheinlich bis Yucatan in Mexiko. Die Wirkung dieser kubanischen Erhebung war eine Absperrung der Nordhälfte des großen Golfes von den bis dahin in ihn eingegangenen warmen Südströmungen, die einer reichen südlichen Fauna dort die Existenz erlaubt hatten; nun kamen die kälteren Nordwasser herein und mit ihnen die ihnen eigene Fauna. Daher macht sich in den Sedimenten jener Zeit im südwestlichen Nordamerika ein ausgesprochener Wechsel des Fossilinhaltes geltend, ohne daß in der Sedimentreihe selbst sich eine stratigraphische Diskordanz zeigte[2]). Damit ist ein weiteres Kriterium gewonnen für den Nachweis eines Strömungswechsels bezw. einer Strömungsablenkung, die gleichzeitig eine Änderung der Wassertemperatur mit sich bringt.

Im allgemeinen sind es also auch nur wieder Modifikationen in den petrographisch-stratigraphischen, biologischen und tiergeographischen Merkmalen, nach denen Meeresströmungen in vorweltlichen Meeren nachweisbar sind. Umgekehrt wird sich ja auch aus ihnen manches inbezug auf die Verteilung der Tierwelt sonst Unerklärliche aufhellen lassen, weil alle diese Dinge in Wechselwirkung miteinander stehen und das Eine aus dem Anderen oft erklärt werden muß, wobei sich sehr oft ein circulus vitiosus ergeben kann.

e) Flußläufe, Wildbäche, Seen.

Flußläufe oder Flußtäler aus einer vorangehenden Zeit mögen, wenn fluviatile bezw. Delta-Ablagerungen selbst nicht vorliegen, ge-

1) POTONIÉ, H., Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe etc., 5. Aufl., Berlin 1910, S. 87 ff.
2) WILLIS, B., „Outlines", p. 225.

legentlich auch dadurch nachweisbar sein, daß in einer folgenden Periode ein Flachmeer zungenförmig in eine vorherige Landfläche eindringt und auf diese Weise nachträglich erkennen läßt, wo vorher die Senken, mithin die vermuteten Flußläufe lagen. Pompeckj glaubt, daß das Eindringen des seichten unterliassischen Meeresarmes in die Regensburger Bucht auf einen älteren, also wohl dem Keuper zukommenden Tallauf des böhmisch-vindelizischen Landes hindeute. Es würde z. B., wenn sich Norddeutschland gleichmäßig senkte, in der Postalluvialzeit vermutlich das Meer bei seinem Eindringen zunächst den großen Stromtälern und -senken folgen, und dasselbe ist bei der unterkarbonischen Überflutung mit dem Gebiete der Oldred Seen in England der Fall gewesen, in das ein Meeresarm eindrang, dessen Ausdehnung die vorhergehenden devonischen Landsenken auf diese Weise nachträglich zur Anschauung bringt. Auch aus dem allgemeinen, nicht nur lokalen Gröberwerden eines Sedimentes auf größere Flächen hin, mag man, wenn die unmittelbar vorhergehende Stufe ungefähr das gleiche Areal bedeckt und feinkörniger ist, auf eine Verstärkung des nächstliegenden terrestren Flußsystems schließen. So ist nach Pompeckj die Zusammensetzung der Arietenstufe des fränkischen Unterlias wohl darauf zurückzuführen, daß durch die mit Beginn der Liaszeit eingetretene Vereinigung der böhmischen Landmasse mit dem skandinavisch-russischen Festlande vielleicht im Gebiete dieser Landkomplexe Hebungen stattgefunden haben, wodurch gegen das Frankenmeer hin Abflüsse mit stärkerem Gefälle entstanden, die auch infolgedessen gröberes Material beibrachten. Eine Senkung des Meeresspiegels hätte gelegentlich praktisch denselben Effekt, weil auch dadurch der absolute Höhenabstand zwischen Mündungs- und Quellgebieten eines Flußsystems vergrößert würde. Auch nachweisbare Zuströmungen von Süßwasser in ein Meeresbecken lassen mittelbar die Nähe ehemaliger Flußläufe erschließen, sei es, daß die Verdrängung einer zuvor anwesenden Marinfauna oder gar ihre Vermischung mit mehr brackwasserliebenden Formen eine solche Süßwasserzufuhr andeuten, wie das mit den Lias-Cardinien der Fall sein dürfte. Der extremste Fall eines Nachweises von Flußmündungen wäre der eines Wildbaches aus einem am Meere dereinst ziemlich schroff angestiegenen gebirgigen Gebietes, der ein sehr dickes, zusammengedrängtes Delta mit äußerst groben Blöcken nach Art eines alpinen Schuttkegels gebildet haben müßte. Ein Beispiel aus der Erdgeschichte hierfür ist mir bis jetzt nicht bekannt geworden. Frech glaubt, daß linsenförmige Einlagerungen von Konglomeraten im Gegensatz zu verstreuten und flacher ausgedehnten Vorkommen ein Merkmal hierfür seien, gibt aber leider auch kein Beispiel an[1]). Schließlich wird auch der Gehalt an chemischen Beimengungen in einem landnahen Sediment einen Hinweis auf die Wasserzusammensetzung von einmündenden Flüssen geben können, wofür die Eisensandsteine der Regensburger Bucht ein Beispiel sind, die in ihren oberen Lagen stark eisenschüssig werden, ja geradezu Roteisensteinlager aufweisen. Freilich muß dabei untersucht werden, ob derartige Imprägnationen in den Sedimenten nicht durch nachträgliche Infiltration, oder primär etwa durch vulkanische Zufuhr entstanden, was übrigens in dem eben erwähnten Beispiele sicher nicht der Fall ist. Noël macht

1) Frech, F., Lethaea palaeozoica, Bd. II, Stuttgart 1897, S. 136, Anm. 2.

darauf aufmerksam[1]), daß sich die Stromrichtung des transportierenden Flußlaufes nachträglich aus der Lagerung bezw. Einzelanordnung der Gerölle oft ablesen läßt. Besonders wenn diese längsgestreckt sind, ordnen sie sich senkrecht zur Stromrichtung an, in horizontaler Lage, falls das Gefälle gering ist. Ist es sehr stark, dann kann von einer gleichsinnigen Anordnung natürlich keine Rede sein; das Mittel versagt also selbstverständlich in vielen Fällen.

Seen und ausgesüßte Lagunen auf dem Lande bezw. an dessen Grenzen gegen das Meer werden uns durch Süßwasserkalke, -sandsteine, -tone angezeigt, die sich als solche durch ihren Inhalt an entsprechenden Tierresten oder Pflanzen zu erkennen geben. Moore oder Sumpfwälder sind ein hierhergehöriger Spezialfall, der sich durch autochthone kohlige Anreicherungen dokumentiert. Um ein Beispiel zu nennen, erinnere ich an das Süßwasserbecken von Mainz im Miocän, das hervorging aus einer oligocänen Brackwasserlagune, die im untersten Miocän mehr und mehr ausgesüßt wurde, wie die kalkigen Corbiculaschichten ausweisen, in denen die brackwasserliebenden Cerithien der vorhergehenden Zone noch persistieren, aber auch schon die Scharen der kleinen Hydrobien auftreten, welche in den folgenden Hydrobienkalken dominieren und uns einen Kalk- und Tonschlamm absetzenden stagnierenden Süßwassersee verraten, in dem sich auch kleine Schalenflohkrebse in ungezählten Scharen tummelten. Die in den Hydrobienschichten eingeschalteten schwachen Braunkohlenflötzchen stammen von autochthonen, am und im Wasser wachsenden und vermoorenden Pflanzen. Ganz ebenso verhält sich die nordalpine miocäne Süßwassermolasse oder die pliocäne pontische Stufe im Wiener Becken.

Für gelegentliche Entstehung von Sturzbächen und katastrophalen kurzfristigen Überschwemmungen kann uns die von Abel entworfene Schilderung der bekannten pliocänen Knochenfundstelle Pikermi bei Marathon ein Beispiel sein[2]). Es ist ein roter Mergel, der mit Gerölllinsen und gelegentlichen Linsen gelben Sandes abwechselt. Das Konglomerat- und Sandmaterial stammt vom Pentelikon, der rote Mergel ist an Ort und Stelle entstandenes Verwitterungsprodukt eines Marmors. Die Formation besitzt in Attika und auf Euböa eine große Ausdehnung und ist nur deshalb gerade bei Pikermi besonders aufgefallen, weil dort ein Fluß einen tiefen Wasserriß in sie eingegraben und sie auf diese Weise aufgeschlossen hat.

Wichtig ist, daß die Knochen in drei getrennten Horizonten übereinander liegen und „zu einer unentwirrbaren Masse gehäuft mit den Geröllen vermengt" sind, also vorzugsweise, wenn auch nicht ausschließlich, an die Geröllhorizonte gebunden erscheinen, was auf Transport und Zusammenschwemmung deutet. Dem entsprechen auch noch andere Tatsachen, z. B. daß Knochen von gleicher Größe und Gestalt häufig in Gruppen zusammenliegen. So wurden in einem Falle nur Gazellenreste zusammengefunden; an einer anderen Stelle nur isolierte Tragocerosschädel in einem Haufen; an einer dritten Stelle nur Hipparionknochen; eine vierte lieferte nur Wirbel von Wiederkäuern; eine fünfte vorzugsweise Unterkiefer. Zwar kommen nie ganze Skelette vor, aber

1) Noël, E., Sur l'orientation que prend un corps allongé pouvant rouler sur les fonds dans un courant liquide. Compt. rend. Acad. Sci. Paris, Tome CLXI, 1905, S. 968—970.

2) Abel, O., Grundzüge der Paläobiologie der Wirbeltiere, Stuttgart 1912, S. 34ff.

Digitized by Google

trotzdem ist erkennbar, daß viele Knochen zur Zeit des Hertransportes noch in Zusammenhang waren, denn zahlreiche fast vollständige Gliedmaßenskelette sind in ihrer natürlichen gegenseitigen Lage erhalten. Vielfach sind sie aber geknickt, so, wie sie sich in der Todesstarre abbiegen, wenn Muskelkontraktion eintritt. Vielfach sind die Knochen aber auch scharf gebrochen. Bemerkenswert ist jedoch, daß, im ganzen genommen, die Rauhtier-, besonders die Hyänenskelette, meist sehr vollständig sind, während das bei den Huftierskeletten nie der Fall ist.

Wichtig für das Verständnis der Entstehung sind folgende Daten: 1. Die ungeheuere Masse der Knochen, besonders von Huftieren, also Formen, die in Heerden zusammenleben; 2. das Auftreten von Affen, also baumbewohnenden Tieren, und das Auftreten von Landschildkröten; 3. die Vollständigkeit der Rauhtier- und die Mazeration der Huftierskelette; 4. das Vorkommen von Rauhtierkoprolithen; 5. das Vorkommen scharfer tiefer Einschnitte in den Huftierknochen, die von Rauhtierzähnen herrühren; 6. das ungeheuer zahlreiche Auftreten von Knochenbrüchen; 7. die Vergesellschaftung von Tierresten derselben Art; 8. die Sortierung der Knochen, Schädel und Unterkiefer; 9. der fluviatile Charakter der Sedimente und ihre Unterbrechung durch grobes Geröll und Knochenanschwemmungen.

Neumayr hat in seiner Erdgeschichte als erster eine Erklärung gesucht und auf einen Bericht Darwin's hingewiesen, der über die Pampassteppen Südamerikas mit ihren zahlreichen wilden Huftierherden schreibt, daß in Zeiten außerordentlicher Hitze und Dürre, z. B. in den Jahren 1827—1830 das Land in eine Staubwüste verwandelt wurde und daß sich in unübersehbaren Mengen die Rinder- und Pferdeherden nach den großen Strömen drängten, um nicht zu verdursten, und daß sie sich durch ihr eigenes Gedränge in Massen die Ufer hinunterstießen und unten entkräftet zu Hunderttausenden im Wasser zugrunde gingen. Es ist nun zu vermuten, daß auch in Pikermi Tausende und Abertausende von Hipparionen, Antilopiden, Rhinocerotiden, Cameliden etc. sich tummelten. Starke Wolkenbrüche katastrophaler Natur müssen eingetreten sein und müssen aus dem nahen Gebirge heraus Gießbäche gesandt haben, welche die waldbewohnenden Affen, die Klippschliefer und Schildkröten in Mengen mit hinausrissen. Draußen in der Ebene tummelten sich die vielen Huftierherden, und diese wurden durch die sich hinaus ergießenden Wasser überrascht und durch die geröllführenden Ströme zusammengeschwemmt, wobei viele die Beine brachen, besonders wenn die Ebene terrassenförmig war und sie sich an zeitweise wasserfrei gebliebenen Stellen sammelten und gegenseitig in's Wasser drängten. Sie wurden abgeschnitten von jeder Kommunikation mit dem wasserfreien Lande, starben zu Tausenden an Hunger und Entkräftung, die Kadaver verwesten und wurden von den bald da, bald dort regellos fließenden Gewässern ergriffen, verschleppt, die Teile aus dem Verbande gelöst und sortiert.

So blieben Extremitäten mit ihren starken, weniger leicht verweslichen Sehnen in Zusammenhang; Unterkiefer fielen bald von den Schädeln ab und wurden anderswo hingeschwemmt, als die Schädel selbst. usf. Also nicht in einer Zeit der Dürre, wie Neumayr's, auf Darwin's Erzählung gestützte Annahme glauben lassen will, sondern in eine Zeit heftigster Niederschläge und Wolkenbrüche fällt die Entstehung der Knochenlager von Pikermi. Und zwar muß sich die Katastrophe dreimal wiederholt haben, weil sie vorzugsweise in drei Schotter-

lagen liegen. Die Bildung der Knochenlager muß zudem relativ schnell vor sich gegangen sein, da sonst der Zusammenhang von Gliedmaßen nicht erklärlich wäre; dennoch müssen die Tiere halb verwest gewesen sein, weil sie ja größtenteils mazeriert vorkommen. Darum ist anzunehmen, daß sie zuerst, durch die Wasser zusammengedrängt, verendeten und dann von anderen nachfolgenden Wassern ergriffen und zusammengeschwemmt wurden. Die Skelette verendeter Raubtiere aber zeigen, ebenso wie die Koprolithen von solchen Tieren, daß sich an der Stelle der Katastrophe die aasgierigen Beutesucher alsbald einstellten.

Wie ein Spezialfall der Seenbildung auf dem Lande die schon erwähnte Therme von Steinheim ist, so mögen noch die meist in Wüsten auftretenden Salzseen ebenfalls als eigenartiger Typus speziell noch genannt werden. Soweit die Salzabscheidung in Buchten und Lagunen am Meeresrand vor sich gehen, kann man sie noch zu den marinen Ablagerungen rechnen. Der bekannteste Fall in dieser Beziehung ist der von Karl Ernst von Baer seinerzeit beschriebene Karabugasgolf am Kaspischen Meer, der nur durch eine seichte Verbindung mit der übrigen Wassermasse zusammenhängt. Es strömt infolge der Verdunstung darum nur Oberflächenwasser zu und da sich die Hauptmenge des Beckens nie mit der übrigen des Kaspischen Meeres vermischen kann, so geht eine allmähliche Konzentrierung der Salzlösung vor sich und am Boden kommt es zum Niederschlag von Salzen. Nach diesem Prinzip hat man sich etwa auch die Entstehung der permischen Salzlager Norddeutschlands vorzustellen, ein Prozeß, der allerdings ein heißes, trockenes Klima voraussetzt, in dem sich gerade die leichtlöslichen Kalisalze niederschlagen und halten können.

f) Waldbedeckungen.

Sind in einer Süßwasserablagerung, wie etwa in der südbadensischen Oeninger Molasse, reichlich Blattabdrücke in schöner Erhaltung vorhanden und kommen die Pflanzenreste nicht zerfetzt vor, so wird man ohne weiteres annehmen dürfen, daß sie an Ort und Stelle in der nächsten Umgebung des Sees gewachsen sind und aus ihnen nicht nur den Waldbestand, sondern auch dessen floristische Zusammensetzung mit lebendiger Anschaulichkeit rekonstruieren können, ebenso wie aufrechtstehende Baumstümpfe in Kohlenlagern, z. B. in der schlesischen tertiären Braunkohle oder in der oberjurassischen Purbeckkohle oder in den karbonischen Steinkohlenlagern, für die Autochthonie der zu Kohle umgewandelten Bäume sprechen, oder wie die verkieselten Hölzer und Baumstämme in der ägyptischen Wüste uns die tertiären Palmen- und Coniferenwälder wiedererstehen lassen.

Ein geradezu klassisches Beispiel für die Rekonstruktion eines vorweltlichen Waldbestandes hat Conwentz durch seine bekannte Bernsteinmonographie geliefert[1]). Durch Prüfung und teilweise detaillierte makro- und mikroskopische Untersuchung unzählig vieler Bernsteinvorkommen und ihrer Einschlüsse, durch Vergleich mit sich selbst überlassenen, von kulturellen Eingriffen verschonten Nadelwaldungen und das Studium ihrer Lebewelt und deren Einwirkung auf solche Waldbestände kam er schließlich zu einer Synthese des

1) Conwentz, H., Monographie der baltischen Bernsteinbäume. Danzig 1890. (Komm.-Verl. von Engelmann, Leipzig.) S. 145 ff.

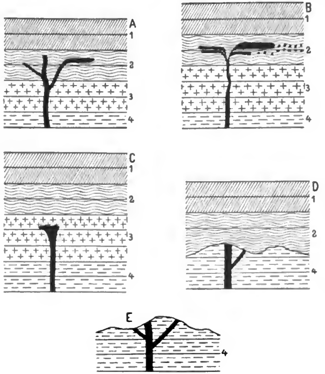
alttertiären Bernsteinwaldes, dessen Schilderung ich mir nicht versagen kann, hier folgen zu lassen, weil sie zu dem Schönsten und Besten gehört, was paläontologisch-geologische Forschung an paläogeographisch-biologischen Resultaten gewonnen hat.

CONWENTZ' Resumé lautet im Auszug, wobei ich mehr auf Wiedergabe des Waldhabitus, als auf die biologisch-morphologischen Einzelheiten seiner Bäume und tierischen Bewohner Wert lege, folgendermaßen: Zu Beginn des Tertiär erstreckte sich das skandinavische Festland bis zum Samlande, dem nördlichen Westpreußen und Mecklenburg. Es war mit einer reichen, teilweise subtropischen Vegetation bedeckt, darunter reichlich harzabscheidenden Kiefern und Fichten. Wahrscheinlich waren im ganzen die verschiedenen Baumarten auf gesonderte Bestände verteilt, und so bildeten auch diese Bernsteinbäume für sich einen geschlossenen Bestand, nur selten von anderen Baumarten unterbrochen. Diese Baumbestände, nicht vergleichbar unseren gepflegten Forsten, standen wie heute die Bäume des Urwaldes unter der unmittelbaren Einwirkung der ganzen, sie umgebenden Natur, d. h. es gab kaum einen intakten Baum im ganzen Bernsteinwald. Wind und Wetter, Parasiten und Saprophyten, Insekten und andere Tiere, umstürzende Nachbarbäume beschädigten und zerbrachen einzelne Äste oder gelegentlich ganze Stämme; die bei der mangelnden Beleuchtung ohnehin geschwächten unteren Astetagen brachen bei der geringsten Erschütterung ab und aus all' den tausendfachen Wunden tröpfelte, ja rieselte das Harz. Blitzschläge und infolgedessen Entzündungen mögen stellenweise den Wald betroffen haben, aber das Feuer flammte vielfach nicht hell auf, sondern schwelte unter einer feuchten Mulmdecke langsam fort und setzte schwärzliche Brandrinden an. Wir sehen also, daß sich die Bernsteinbäume in einem dauernden Zustande der Zersetzung und Harzausscheidung befanden. Aus Astlöchern quoll dickflüssiges Harz, das sich beim Herabtropfen oft lang zog. An Schälwunden und Baumschlagstellen kamen größere Mengen von Harz heraus, und wo etwa der Blitz eingeschlagen hatte, hing ein langer Harzzopf stalaktitenartig herunter. Harz überzog die Oberflächen der Stämme und Äste, es blieben vorüberfliegende und angewehte Insekten und Pflanzenteile daran hängen und wurden darin eingebettet. Eine Reihe von verschiedenen Agentien wirkte zusammen, um alle Bäume nach und nach zu Fall zu bringen, abzubrechen, zu entwurzeln; auf dem Waldboden häuften sich die Reste von Generation auf Generation, es war eine undurchdringliche Wildnis. Das dünnflüssige Harz, welches von den Zweigen herabtropfte, fiel auch zu Boden, verkittete den Mulm zu unförmigen Massen — so entstand der unreine und reine Bernstein mit seinen Einschlüssen und Anhängseln, aus denen dieser Bildausschnitt vorweltlicher Natur gewonnen ist. Wie lange der eigentliche Bernsteinwald bestanden hat, entzieht sich noch unserer Schätzung; wohl viele Jahrhunderte. Er wurde von seinem Schicksal ereilt, als der Boden sich senkte und das Meer darüber hinflutete. So gerieten das Harz und die Hölzer in's Wasser und wurden später zusammen mit Meerestierschalen in den feinen Sandmassen der sogenannten blauen Erde abgelagert, die aus der Aufarbeitung des einstigen Untergrundes des Bernsteinwaldes hervorgegangen war.

Digitized by Google

g) Vulkane und Gebirge.

Auf einer paläogeographischen Karte sollen auch die Stellen **submariner und terrestrer vulkanischer Tätigkeit** eingetragen werden. Zwischenlagerung marin aufgearbeiteter Tuffe, womöglich mit Marinfossilien, zwischen den regulären Sedimenten einer Formation erlauben den Rückschluß auf in der Nähe stattgehabte Eruptionen, wofür die südtiroler mitteltriassischen Melaphyr- oder Pachycardientuffe ein ebenso treffendes Beispiel sind, wie die aus vulkanischem Material aufgebauten Lias-Jura-Sedimente des westlichen Nordamerika,



Figur 64.

wo zum Teil die Durchsetzung der Eruptivgänge selbst, welche das Sedimentmaterial lieferten, sichtbar ist, und dasselbe Phänomen findet sich auch in dem Tertiärgebirge bei Vicenza, wo sowohl die Zwischenlagerung in den marinen Kalken, wie auch die Steilwände der Eruptionsschlote zu sehen sind.

Wenn wir von den Schwierigkeiten absehen, die Altersbestimmung vulkanischer Gesteine durchzuführen, wenn die Erosion schon zu tief die von ihnen durchdrungenen Sedimente angegriffen hat, so kommen mehrere Möglichkeiten (Fig. 64) in Betracht, wobei intrusive und effu-

sive Magmaergüsse zu unterscheiden sind. Erstere bezeichnen die zwischen die Schichtfugen und Gesteinsspalten eingedrungenen Massen, die nicht zur Oberfläche gelangten und sich daher auch dort nicht ausbreiteten; letztere sind die an die Oberfläche ausgetretenen und dort kuppen- oder deckenförmig erstarrten Ausflüsse.

Fall A: Der Durchbruch erfolgte vor der Zeit 1 und zwar mit Ende der Zeit 2 (Intrusion).

Fall B: Der Durchbruch erfolgte während 2, und das Material wurde zum Teil sedimentär aufgearbeitet (Effusion).

Fall C: Der Durchbruch erfolgte mit Ende von 3 oder in Zeit 2 oder in Zeit 1, hatte aber in letzteren beiden Fällen nichtmehr die Kraft durch 2 bezw. 1 durchzudringen (Intrusion oder unterdrückte Effusion).

Während A und B der Altersbestimmung keine Schwierigkeit bereiten, wird C nur in Ausnahmefällen sich zeitlich fixieren lassen. Hat aber die Erosion schon mitgesprochen, so ist die sichere Bestimmung des Datums ganz ausgeschlossen. Es kommen da folgende Möglichkeiten in Betracht:

Fall D: Schichtsystem 3 fehlt durch spätere Erosion, die auch Schichtsystem 4 oberflächlich angegriffen hat; dann lagerte sich nach erneuter Überflutung diskordant 2 und später 1 darüber ab. Der vulkanische Gang kann gerade mit Ende der Zeit 4, er kann aber auch während aller Phasen der Zeit 3 heraufgedrungen sein. (Ob Effusion oder Intrusion, ist unbestimmt.)

Fall E: Wenn das ganze System 1—3 erodiert ist, kann der Gang zur Zeit 1, 2, 3 und Ende 4 entstanden sein. (Ob Effusion oder Intrusion, ist unbestimmt.)

Typische Beispiele für vorweltliche Vulkanrekonstruktionen liefert das große Werk von A. Geikie über die vorzeitlichen Vulkane Großbritanniens[1]), wo er z. B. aus zwei, den älteren Old red-Sandstein des Devon durchsetzenden, mit vulkanischen Auswurfstrümmern angefüllten Durchschlagsgängen, die sich in der jüngeren Old red-Zeit bildeten, einen Vulkan rekonstruiert, dessen Umrisse er aus dem Auftreten von Lavalagen, die dem jüngeren Old red-Sandstein eingelagert sind, gewinnt. Hierzu die beistehende Fig. 65.

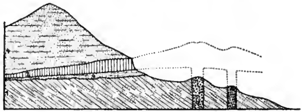
Für den Nachweis alter Gebirgszüge oder großer Reliefunebenheiten gibt es im allgemeinen wohl nur zwei Wege, einen direkten und einen indirekten. Soweit nicht aus dem Charakter der Marinsedimente in Küstenregionen auf das Vorhandensein reißender Ströme und damit auf gebirgiges Land im allgemeinen geschlossen werden kann, ist der unmittelbare Befund im Aufbau der Schichtsysteme entscheidend.

Wenn über stark gefalteten und dann abradierten Falten jüngere Sedimente transgredieren oder gar horizontal liegen, so sehen wir darin die Existenz eines Faltengebirges zu einer Zeit, welche älter sein muß, als die nichtmehr mitgefaltete älteste Schicht. Ist die nächstältere noch mitgefaltet, so läßt sich der Zeitpunkt der Entstehung und Denudation dieses Gebirges sehr genau bestimmen. Gelegentlich werden auch, wenn es sich nicht um Faltengebirge, sondern nur um

1) Geikie, A., The ancient volcanoes of Great Britain, London 1897. Vol. II, S. 352.

ein unruhiges Relief handelt, die Höhen und Senken durch Verfolgung der Schichtlagerung auf weitere Entfernung über die Erhebungen und Senkungen der ehemaligen Oberfläche Aufschluß geben können. Ein Beispiel hierfür bietet das auf S. 260 beschriebene, durch Fig. 49 veranschaulichte Auflagern des algonkischen Torridonsandsteines auf dem gewellten archäischen Erosionsuntergrund in Schottland. Und schließlich bleibt noch die Möglichkeit übrig, aus dem Charakter von Sedimenten und deren klastischen Trümmern auf die Gestaltung des Landes und die Lage von Höhenzügen zu schließen, aus denen sie ehemals herbeitransportiert wurden.

Schließlich wird auch das Vorhandensein von Inseln zu irgend einer späteren Zeit Rückschlüsse auf höhere bezw. gebirgige Stellen in früherer Zeit erlauben. Gerade die böhmische Insel ist auch hierfür ein brauchbares Beispiel: Nach der oberen Jurazeit zog sich von ihr das Meer völlig zurück, um erst mit der mittleren Kreidezeit, dem Cenoman, zurückzukehren und die ganze obere Kreide hindurch an die alten jurassischen Ränder dieses Urgebirgskomplexes zu schlagen. Das erlaubt uns anzunehmen, daß zur Unterkreidezeit, das süddeutsch-



Figur 65.

böhmische Land im Urgebirgskomplex am höchsten und gebirgigsten war, während der vom Jurameer verlassene Boden eine flache Ebene dargestellt haben wird. Wie man auf anderem Wege sich über die Orographie einer Landfläche Aufklärung zu verschaffen vermag, zeigt das von Pompeckj[1]) angeführte Beispiel der Regenstaufer Halbinsel, die zur oberen Liaszeit sehr flach gewesen sein muß, weil sie mit jungtriassischen Keupersedimenten bedeckt ist, also schon mit Beginn des Lias keine hohes Bergland gewesen sein kann und dies darum noch weniger zur Oberliaszeit, nachdem sie so lange trocken lag und der Denudation ausgesetzt war.

h) Herkunft von Ablagerungsmaterial.

Im Anschluß an die Bemühungen um Rekonstruktion von Gebirgen, Deltas und Flußmündungen wird sich, wie vorherige Beispiele schon zeigten, auch zuweilen die Frage ergeben, **woher das Sedimentmaterial eines Meeresbeckens** kommt, und daraus hinwiederum wird sich sowohl auf die Größe, wie auf den Oberflächencharakter und die petrographische Zusammensetzung der umliegenden Landregionen schließen lassen. Wenn die oberjurassische Naknek-

1) Pompeckj, J. F., Die Juraablagerungen zwischen Regensburg und Regenstauf, a. a. O. S. 187.

Formation Alaskas[1]) aus einem mehrere hundert Meter mächtigen granitischen Detritus und ebensolchen Konglomeraten besteht, so sind STANTON und MARTIN zu der Annahme einer im wesentlichen aus granitischen Gesteinen bestehenden Landmasse um jenes Becken herum berechtigt.

Die Konglomeratbildungen sind natürlich ein besonders geeignetes Mittel, die Herkunft von Sedimentmassen, in die sie eingeschaltet sind, herauszubekommen. Denn ihre Komponenten haben eine Größe, welche ausreicht, sie wie petrographische Handstücke zu begutachten. So schildert v. SEIDLITZ die Entstehung des Hauptkonglomerates im elsässer Buntsandsteingebiet[2]). Der mittlere Buntsandstein schwillt nach Norden an, sein Material muß also von dort hergekommen sein, etwa aus dem Ardennengebiet; umgekehrt nimmt das darüber folgende Hauptkonglomerat nach Süden an Mächtigkeit zu. SANDBERGER beobachtete im Schwarzwald, daß der Gehalt an krystallinen Gesteinen nach Osten zunimmt, und daß auch nach Osten die Gerölle größer werden. In den Vogesen finden sich auch die größten Gerölle im Süden, die ganze Schicht nimmt nach Norden an Mächtigkeit sowohl, wie an Durchmesser ihrer Einzelkomponenten ab. Unter den Geröllen finden sich silurische Graptolithengesteine, die im ganzen Unterrheingebiet nirgends mehr anstehen. Es bleibt nach diesen Anhaltspunkten nur übrig, auf die ehemalige Anwesenheit eines nun abgetragenen, südlich gelegenen Gebirges zu schließen, das aus Quarziten, fossilführenden Kieselschiefern und Feldspatgesteinen aufgebaut gewesen sein muß.

Für das Oberkambrium konstruiert WILLIS eine ausgedehnte Meeresbedeckung in Nordamerika, die über dem Meeresspiegel liegenden Landteile waren stark reduziert. In dem weiten epikontinentalen Meeresgebiet dieser Zeit herrschen nun sehr feine Kalksedimente vor, und in den Küstenregionen selbst finden sich nicht grob-detritogene Materialien, sondern ebenfalls feine kieselige Sedimente. Diese Feinheit ist ihm ein Beweis dafür, daß das Relief des tributären Landes flach und abgetragen war. Umgekehrt ist ihm die große Mächtigkeit der Sedimentmassen in dem ostappalachischen Meeresgebiet zur Mittel- und älteren Oberdevonzeit ein Anzeichen für starke orogenetische Konfiguration des Landes, wodurch eine belebte Erosion zustande kam, die reichlich Material in's Meer schaffte. Die Mächtigkeit der Alttertiärablagerungen im Westen Nordamerikas, wo auch im Eocän sich eine stark vulkanische Tätigkeit bemerkbar machte, führt er auf die Erosion des bergischen, damals sich erhebenden, umliegenden Landes der Kordilleren und eine Aufhäufung der Zerstörungsprodukte — vermehrt durch das vulkanische Material — im alttertiären inneren Kordillerenmeere zurück, während im Gegensatz hierzu im Osten ein flaches Land bestand[3]).

DEECKE hat eine anregende Studie[4]) über die Herkunft der Sedimente im baltischen Gebiete gemacht, der wir das Folgende entnehmen:

1) STANTON, T. W. and MARTIN, G. C., Mesozoic section on Cook Inlet and Alaska Peninsula. Bull. geol. Soc. America, Vol. 16, Rochester 1905, S. 391.

2) SEIDLITZ, W. v., Über die Bildung von Konglomeraten. Mitteil. Philomath. Ges. Els.-Lothr., Jahrg. 1910, Bd. IV, Straßburg 1911, S. 237—249.

3) WILLIS, B., Paleogeographic maps. In „Outlines" etc., a. a. O. S. 43, 121, 222.

4) DEECKE, W., Die südbaltischen Sedimente in ihrem genetischen Zusammenhange mit dem skandinavischen Schilde. Centralbl. f. Mineral. etc., Bd. VI, Stuttgart 1905, S. 97—109.

Wenn wir von dem baltischen Karbon, Perm und der Trias bis zum Rhät absehen, weil über deren Entwicklung und Zusammensetzung noch nichts durchweg Sicheres bekannt ist, so zeigt die Sedimentation des skandinavischen Paläozoikums einen gleichen petrographischen Entwicklungszyklus, wie die der Serie Rhät-Quartär in dem um den skandinavischen Schild herumliegenden baltisch-norddeutschen Gebiet. In Skandinavien haben nachweislich auf dem alten archäischen Grundgebirge von paläozoischen Sedimenten gelegen: Arkose und Sandsteine, eine Tonschieferserie mit eingelagerten Kalken, dann Kalkmergel und kompakte Kalke; die arkoseartigen Sandsteine sind kambrischen, eventuell auch algonkischen Alters, das übrige silurisch. Die Gliederung ist also: Sandstein, Tongesteine mit Kalk, dann Kalkmergel und Kalk. Darüber folgt bezw. folgte das Devon, sandig beginnend, dann kalkig-dolomitisch, zum Teil mit Gips, nach oben tonigsandig bis rein sandig und mit eisenschüssigem Bindemittel. Silur und Kambrium waren mehrere 100—1000 m, das Devon etwa 250 m mächtig. In den südbaltischen Ländern beobachten wir von der oberen Trias an eine gleiche Reihenfolge im Charakter der Sedimente, aber im umgekehrten Sinne, und es macht dies gerade den Eindruck, „als ob die Blätter eines Buches umgeschlagen" worden wären. In der beschriebenen paläozoischen Serie Skandinaviens nimmt, ebenso wie in der rhätisch-quartären, ein mächtiger Kalkkomplex die Mitte ein, und vergleicht man, wie das Deecke durchführt, im einzelnen die Stufen der mesozoisch-tertiären baltischen mit der paläozoischen skandinavischen Serie, dann ergibt sich eine merkwürdige petrographische Homologie, welche sich einfach dadurch erklärt, daß die im Großen und Ganzen ungestörte skandinavische Sedimentdecke in dem Maße abgetragen wurde, wie sich Jura, Kreide und Tertiär im Baltikum ablagerten. Das über dem Kalkkomplex in Skandinavien Hangende wurde zuerst erodiert und wurde das Liegende im Baltikum; das dort Liegende, zuletzt von der Erosion ergriffen, wurde hier das Hangende. Mit dem Beginn der Ausbildung des Rhät begann die Erosion des Devon und dauerte durch den größten Teil der Jurazeit fort. Im Malm wurden die älteren silurischen Kalke angegriffen und bauten die Kreide mit auf; Untersilur und Kambrium lieferten das Material für das Tertiär, und das Diluvialeis hat das Urgebirge erodiert und sein Material als erratisches Quartär draußen abgesetzt. Voraussetzung für eine solche, fast schematische Umkehrung des Sedimentmateriales ist natürlich der im wesentlichen tektonisch ungestörte Zustand der älteren tributären Serie; auf solchem Boden konnte ein Flußsystem gleichmäßig erodieren. Es konnte die obenliegenden Schichten zuerst wegnehmen und so in dem von ihm gespeisten marinen Becken ein petrographisch gleichartiges Sediment absetzen, und so Schritt für Schritt weiter. Verlegte sich durch Senkungen außerhalb oder durch Hebung des Erosionsgebietes die Erosionsbasis, so machte sich dies in der ganzen Abtragungsregion in gleichem Sinne geltend. Das Gefälle und damit die Erosionskraft und -geschwindigkeit wurde verstärkt oder vermindert, und so spiegeln die Sedimente der späteren Zeit auf's genaueste die Folge der früheren wieder, wenn auch im einzelnen hin und wieder die naturgemäß nie ganz gleichartig-tafelförmig wirkende Erosion das Material etwas gemischt haben mag.

Es gibt uns eine derartige Untersuchung nicht nur die trockene Antwort auf die Herkunft des Sedimentmateriales bestimmter Forma-

Digitized by Google

tionen, sondern auch ein außerordentlich anschauliches Bild der paläogeographischen Veränderungen in großen Arealen zu bestimmter Zeit, und zeigt uns, wie auch hier wieder die verschiedensten Materien: Tektonik, Geomorphologie, allgemeine Geologie und Stratigraphie in der Paläogeographie zu einem Ganzen miteinander verwoben erscheinen.

Von der Untersuchung, woher das Sedimentmaterial eines Schichtkomplexes im Großen und Ganzen kommt, bis zu der Frage, woher in eng begrenzten Spezialfällen bestimmte Einzelkomponenten eines klastischen Gesteines kommen, ist nur ein Schritt; hier wird die Paläogeographie vollständig identisch mit der Sedimentpetrographie. So z. B. wenn zur Erklärung der Herkunft der Kieselsäure im Muschelkalk Reis kieselsäurereiche heiße Quellen am Grunde des Meeresbodens, Clemm auf tektonischen Spalten aufdringende juvenile Wässer in Anspruch nimmt[1]), Hohenstein sie aus umliegendem Wüstengebiet hereinkommen läßt[2]), wo nach Passarge lösliche Kieselsäure in Form von Opal und Chalcedon vorhanden ist bei gleichzeitiger Anwesenheit kohlensaurer Salze, welch' letztere beim Ausbruch starker Niederschläge in Lösung gehen, während zugleich die zirkulierenden Wässer dadurch imstande sind, die Kieselsäure zu lösen und weiter zu transportieren. Gelegentlich können es auch die im Meere lebenden, Kieselskelette bauenden Organismen sein, denen die sedimentäre Festlegung des Silicium in einer Ablagerung zu danken ist, wie man das etwa für die weiße Kreide mit ihren Feuersteinen erweisen konnte.

i) Abtragungs-, Transgressions- und Landflächen.

Die Ermittelung alter Land- oder Abtragungsoberflächen gehört zu den interessantesten paläogeographischen Versuchen, die in neuerer Zeit, wohl unter dem vorbildlichen Einfluß der Davisschen Richtung in der Geographie, gemacht worden sind und die eine eingehende Besprechung an Hand zweier typischer Beispiele rechtfertigen.

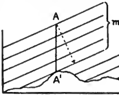
Strigel setzte sich zur Aufgabe, die Abtragungsfläche des im älteren und mittleren Karbon aufgerichteten, im oberen Karbon und Perm zu einem Rumpfe denudierten variszischen Gebirges, vor allem im Odenwalde, zu ermitteln und in einer Höhenkurvenkarte darzustellen. Jene Oberfläche ist nicht zu verwechseln mit der Einebnungsfläche, welche sich durch nachherige Auflagerungen von Karbon- und Rotliegendschutt, sowie Larven und Tuffen bildete; nur die erstere ist unter der im Folgenden angewandten Bezeichnung „permische Abtragungsfläche" zu verstehen. Der ältere, variszisch gefaltete und nachher denudierte Teil, das „Grundgebirge", baut sich aus metamorphen Schiefern und Eruptivgesteinen auf. Die über der Abtragungsfläche angehäuften späteren Ablagerungen sind nicht metamorphosierte Sedimente, so daß ein scharfer petrographischer Gegensatz zwischen diesem „Deckgebirge" und dem Grundgebirge besteht, der die Erkennung der alten Rumpffläche erleichtert. Da aber diese

1) Die spezielleren Literaturangaben siehe bei Hohenstein an der zitierten Stelle.

2) Hohenstein, V., Beiträge zur Kenntnis des mittleren Muschelkalkes und des unteren Trochitenkalkes am östlichen Schwarzwaldrand. Geol. u. Paläontol. Abhandl., N. F. Bd. XII, Jena 1913, S. 29—32.

Digitized by Google

nicht überall, ja nur in den seltensten Fällen, zutage tritt, mußten Methoden ausgearbeitet werden, nach denen ihre Tiefe unter den späteren Ablagerungen vom jetzigen Bodenniveau aus ermittelt werden konnte. Als Grundlagen für den Kartenentwurf ergaben sich verschiedene Punkte und zwar zunächst die, wo heute das Grundgebirge, von überdeckenden Sedimenten entblößt, frei daliegt. Sie geben Grenzwerte nach unten, Höhenminima, weil die ehemalige permische Abtragungsfläche an diesen Stellen entweder in derselben Höhe, oder etwas höher, sicher aber nicht tiefer lag. Die nächsten Grundpunkte sind die, wo das Rotliegende unmittelbar auf dem Grundgebirge ruht; das sind die für einen zuverlässigen kartographischen Entwurf wichtigsten Stützpunkte, weil sie die Abtragungsfläche intakt an ihrer ehemaligen Stelle zeigen. Sie sind auf der beifolgenden STRIGEL'schen Kartenskizze (Fig. 66) mit α bezeichnet; mit β dagegen die Stellen, an denen ohne Vermittelung von Rotliegendem der Zechstein folgt, und endlich mit γ die, an denen Buntsandstein unmittelbar auf der Abtragungsfläche liegt. Diese β- und γ-Punkte sind daher streng genommen nur Grenzwerte nach unten hin; denn da zwischen Zechstein bezw. Buntsandstein und Ablagerungsfläche ein bezw. zwei Formationsglieder fehlen, muß vor deren Ablagerung eine Erosionsperiode gelegen haben, welche möglicherweise auch die alte permische Abtragungsfläche noch einmal angriff und tiefer legte. Sucht man auch alle Aufschlüsse auf, in denen das liegende Grund- und das hangende Deckgebirge im Profil ausstreichen, so genügen diese Stellen doch noch bei weitem nicht zum Entwurf einer einigermaßen genauen Karte. Man muß daher zur Vervollständigung des Bildes überhaupt die spätere Sedimentdecke über der Grundgebirgsfläche abgehoben denken. Rotliegendes, Zechstein, Buntsandstein treten an den Hängen aus. Subtrahiert man die bekannte allgemeine Mächtigkeit der einzelnen Formationen entsprechend von jedem Punkte der Ausstrichkurve, dann kommt man damit auf das Niveau der unsichtbar darunterliegenden Grundgebirgsoberfläche. Analog dem Obigen sind die von der Auflagerungsfläche des Zechsteins auf Rotliegendem erhaltenen Punkte mit β, die von den Grenzflächen der Buntsandsteinabteilungen aus gewonnenen mit δ bezeichnet. Da die Mächtigkeiten der einzelnen Stufen lokal wechseln, so sind sie auf irgend eine Weise jeweils im einzelnen zu ermitteln gewesen, was nicht nur die Arbeit außerordentlich komplizierte, sondern sich teilweise auch nur annähernd erreichen ließ; oft mußte daher zur Berechnung nach der mittleren Mächtigkeit geschritten werden, und dies besonders auch dann, wenn es sich nicht um die obere oder untere Grenze einer der Formationen handelte, wovon die Mächtigkeit abzurechnen gewesen wäre, sondern um dazwischenliegende Schichtflächen. Es ergeben sich dabei natürlich nur maximale oder minimale Grenzwerte. Eine weitere Fehlerquelle liegt in der Neigung der Schichten. Zieht man (Fig. 67) in Punkt A stehend die Mächtigkeit m des Schichtsystems ab



Figur 67.

1) STRIGEL, A., Geologische Untersuchung der permischen Abtragungsfläche im Odenwald und in den übrigen deutschen Mittelgebirgen. Verh. naturhist.-med. Vereins Heidelberg, N. F. Bd. XII, 1912, S. 63—172. (Mit 5 Karten.)

und schließt daraus auf die Tiefenlage von A' der gesuchten Abtragungsfläche, dann hat man zu wenig subtrahiert, weil der Punkt A' senkrecht unter A liegt, diese Entfernung jedoch nicht gleich der Schichtmächtigkeit m, sondern größer als diese ist; bei der geringen Neigung der Schichten im Odenwaldgebiet hatte dieser Fehler jedoch praktisch so gut wie keine Bedeutung. Eine weitere Schwierigkeit boten die nachkarbonischen Verwerfungen, welche die permische Abtragungsfläche zerstückelt hatten, teilweise mitsamt den darüberliegenden, etwas späteren Ablagerungen. Es war also jeweils die Sprunghöhe der einzelnen Verwerfungen festzustellen, um den ursprünglichen Zusammenhang der Abtragungsfläche wieder zu gewinnen. Da sich aber die Sprunghöhe entlang der Verwerfung ändern kann, so ist die Methode gleichfalls nicht einwandfrei, insofern sie die an einem Punkte gemessene Sprunghöhe auf die ganze Erstreckung der Bruchlinie überträgt. Diese Punkte sind auf der Karte mit ε bezeichnet. Im übrigen wurden die nötigen Unterlagen mit Hilfe der geologischen Kartenblätter jener Gegend gewonnen.

Dies ist im wesentlichen die von Strigel angewandte Methode zur Rekonstruktion der auf dem beifolgenden, nur teilweise wiedergegebenen Kartenbilde dargestellten permischen Abtragungsfläche, über die auf solche Weise ein große Zahl wichtiger Aussagen gemacht werden konnten, wie z. B. ihr in den einzelnen Gegenden verschieden gerichtetes Abfallen unter Winkeln von $\frac{1}{2}$—$5\frac{1}{4}^0$. Es wurden spezielle Unebenheiten festgelegt, Taleinsenkungen und Erhebungen gefunden. Die Höhenkurven konnten auf dem hier abgebildeten Teile von 25 zu 25 m angelegt werden; die sicheren Stellen sind ausgezogen, die unsicheren gestrichelt. Sie zeigen ein flachwelliges Bergland, von dem es möglich ist, daß es in Wirklichkeit noch differenzierter war, weil ja beim Abzug der berechneten Mächtigkeit überlagernder Schichten nur eine etwas theoretische, nicht die wirkliche, vielleicht aus ausgefüllten tieferen Rinnen bestehende Auflagerungsfläche erkannt wird. Die Richtung der Hohl- und Schwellformen läßt nicht auf ein zusammenhängendes hydrographisches System schließen. So weit in großen Zügen die Methoden und Ergehnisse dieser überaus interessanten, typisch paläogeomorphologischen Arbeit.

Weit schwieriger gestaltet sich die paläogeographische Rekonstruktion oder vielmehr die richtige geologische Datierung einer alten Abtragungsfläche, wenn auf ihr nachgewiesenermaßen spätere Sedimente aus mehreren Zeitaltern lagen, wie im vorigen Falle, aber wieder entfernt wurden bis auf wenige Reste. Es kommen dann eine größere Anzahl vorquartärer Zeiten und das Quartär selbst als Denudationszeiten in Betracht, und es sind Merkmale aufzufinden, um festzustellen, was altvergangene und was jüngste Denudationskräfte geschaffen haben.

Einen solchen Fall bietet die neuerdings von Philippi erforschte[1]) präoligocäne Denudationsfläche Thüringens und des nördlichsten Bayern, über die infolge der soeben erwähnten Umstände die Meinungen sehr auseinandergehen. Diese thüringisch-fränkisch-vogtländische Hochfläche sieht z. B. Walther als die erst kürzlich, d. h. zur Quartärzeit durch die Denudation von den darübergelagerten permisch-meso-

1) Philippi, E., Über die präoligocäne Landoberfläche in Thüringen. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 62, Berlin 1910. S. 305—404. (Mit Karte.)

zoischen Sedimenten wieder befreite spätpaläozoische Landfläche an, die schon einmal am Schluß der Steinkohlenzeit und im Unterperm das Tageslicht gekannt habe. Nach dem Ende des Karbon seien Zechstein, Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper und Lias, 1500 m mächtig, über die Abrasionsfläche der alten Faltenzüge durch Sedimentation ausgebreitet und „später" wieder durch Denudation entfernt worden. Viele andere Forscher[1]), die sich mit dem gleichen Gegenstande beschäftigten (wie Regel, Supan, J. L. Heim), huldigten ebenfalls dieser Anschauung. Ausgedehnte Bodenbewegungen sollten zu tertiärer Zeit u. a. den Thüringer Wald, den Harz gehoben, ausgedehnte Verwerfungen sie begrenzt, das Thüringer Triasgebiet durchsetzt und das Thüringer Becken geschaffen haben. Durch diese tektonischen Niveauverschiebungen wäre eine intensive Abtragungsperiode eingeleitet und in der Folge die über der alten oberkarbonen Landfläche inzwischen aufgelagert gewesene permisch-mesozoische Schichtserie denudiert worden. So wurde die uralte Oberfläche wieder freigelegt, und sie sei identisch mit dem heutigen, mehr oder minder peneplainartigen Hochplateau des Schiefergebirges. Philippi dagegen spricht sie als eine verhältnismäßig junge und zwar subaërische Peneplain an, deren Entstehung größtenteils noch in's Mesozoikum falle, die bereits vor Ablagerung der jetzt auf ihr verstreuten fluviatilen oligocänen Schotter vollendet gewesen und vom Oligocän ab durch Flußerosion zerschnitten worden wäre. Die genannten tektonischen Verschiebungen seien danach präoligocän, abgesehen von untergeordneten posthumen Bewegungen an den Verwerfungen, und zwar sollten diese „präoligocänen" Bewegungen schon am Ende der Jurazeit eingetreten und in der Oberkreide und dem Eocän von einer zweiten Hauptphase gefolgt gewesen sein.

Die Kardinalfrage war also die: wie kann man nachweisen, ob die eine oder die andere Anschauung zutrifft? „Eine ursprünglich nahezu ebene, auch heute noch nirgends steilgestellte Fläche, wie es die präpermische Abrasionsfläche ist", sagt Philippi, „kann nur durch eine flächenhaft wirkende Denudation über weite Strecken wieder entblößt werden". Flächenhaft denudieren aber nur Meer und Wind, fluviatile Erosion würde zerschneiden und die alte Fläche daher nichtmehr intakt als solche herstellen können. Marine Abrasion ist ausgeschlossen, weil seit dem jüngeren Mesozoikum kein Meer mehr die Gegend überflutete; die marine Oberkreide dringt nur bis in das heutige Thüringer Becken ein, die Oligocäntransgression überschritt südwärts nicht die Linie Bernburg—Halle—Leipzig. Weil das Klima in Mitteldeutschland am Ende des Mesozoikums und in der ersten Hälfte der Tertiärzeit warm und feucht war, da es einen üppigen Pflanzenwuchs gedeihen ließ, scheint eine Winderosion in so großem Maßstabe, wie es hier erforderlich wäre, gleichfalls ausgeschlossen zu sein. Weiter wäre es höchst unwahrscheinlich, daß die Meeres- oder Winderosion auf einige Meter genau eine so alte Fläche von den darüberliegenden Sedimentärformationen befreit, diese alte Fläche selbst aber gar nichtmehr angegriffen haben sollte. Das wäre doch nur denkbar, wenn die hangenden Sedimente im Gegensatz zum Liegenden mit seiner alten Abrasionsfläche außerordentlich weich gewesen wären und dadurch ohne besondere Abrasionskraft hätten abgespült bezw. abgeweht werden können.

1) Nähere Zitate siehe bei Philippi, a. a. O. S. 313ff.

Davon ist aber in Wirklichkeit keine Rede, unterer Zechstein und Muschelkalk z. B. sind äußerst widerstandsfähige Stufen.

Allem dem gegenüber sehen wir ein von fluviatiler Erosion zerstücktes Gebiet, in dem das alte liegende Schiefergebirge ebensogut zerstückt ist, wie die jüngeren Sedimente. Flachere und steilere Rücken charakterisieren die Landschaft; deren höhere Teile gehören der permischen Decke, deren tiefere dem liegenden Schiefergebirge an, ohne daß in der Landschaft die Grenze zwischen beiden Gesteinen — die permische Abrasionsfläche — deutlich hervortreten würde. Wenn also hier nur fluviatile, zerschneidende Erosion für die Herstellung der Landoberfläche, wie sie sich jetzt präsentiert, in Betracht kommt; wenn ferner die alte permische Abrasionsfläche, dort wo man sie als solche unmittelbar sehen kann, immer nur im Profil, niemals als größere zusammenhängende Fläche entblößt daliegt, dann kann man nichtmehr die Hochfläche des Thüringer Schiefergebirges als eine Peneplain bezeichnen, die schon einmal am Schluß der Steinkohlenzeit in gleicher Form „das Tageslicht erblickt" hätte, dann wieder von Marinsedimenten überdeckt und dann wieder in alter Form bloßgelegt worden wäre. Wo aber der Peneplaincharakter der Oberfläche ausgesprochener zur Geltung kommt, wie etwa südlich der Orla im Frankenwalde, da steht diese flachwellige Oberflächenform in keiner Beziehung zu der permischen Überlagerung des älteren, paläozoisch denudierten Gebirges.

Wie alt ist nun die Hochfläche des Thüringischen Schiefergebirges, wann wurde sie angelegt, wenn sie nicht die alte präpermisch-permische Denudationsfläche ist? Verfolgt man die Fläche vom Frankenwalde aus nordöstlich in's Vogtländer Schiefergebirge, so sieht man sie ohne Änderung ihres morphologischen Charakters in ein tieferes Niveau hinabsteigen und schließlich verschwindet sie zum Teil unter oligocänen Schottern. Diese aber liegen teilweise auf dem alten Grundgebirge, auf abradiertem Silur und Devon, und beweisen, daß hier bereits im Oligocän die jüngere Sedimentdecke abgetragen war, dies also nicht erst in jüngster geologischer Zeit geschah. Sie liegen stellenweise aber auch auf Rotliegendem, Zechstein und unterem Buntsandstein, und so mußte als oder Boden der dem Oligocän unmittelbar voraufgehenden Landfläche, auf der sich dann die besagten Schotter ablagerten, aus den genannten Formationen inklusive der alten Schiefergebirgsformation bestehen. Es wäre hier Gelegenheit, eine geologisch kolorierte paläogeographische Landkarte zu entwerfen, wie wir es oben schon (S. 309) gefordert und wofür wir S. 365ff. ein Beispiel genannt haben.

Auf diese Weise also fand Philippi eine zusammenhängende thüringisch-fränkische Hochfläche bezw. präoligocäne Landfläche. Die Teile der Jenaer Gegend und des Frankenwaldes sind zwar durch das tief erodierte Gebiet des Orlagaues bis Gera hinüber getrennt, treten aber ganz im Osten über Ronneburg in einem Bogen zu einem morphologisch unteilbaren Ganzen zusammen; die Erosion ist postoligocän, und hätte diese nicht gewirkt, so würde die ganze Plateaufläche des Thüringer Waldes mit dem nördlichen Triasgebiete zusammenhängen. Das Schiefergebirge muß also alles in allem schon vor der Oligocänzeit auf weite Strecken hin von der jüngeren Sedimentdecke entblößt gewesen sein und zwar zum mindesten überall, wo die Gegend Plateaucharakter besitzt, die Oberfläche also als präoligocäne Landoberfläche aufzufassen ist. Und ein letzter Beweis dafür, daß diese Einebnungsfläche nicht jüngsten Datums, sondern präoligocän, also vielleicht

spätmesozoisch ist, d. h. damals mindestens angelegt wurde, ist dieses: Als das Unteroligocänmeer die Leipziger Bucht und das Thüringer Becken innehatte, gelangten ungeheuere Massen von Kies, Sand und Ton hinein und wurden marin sedimentiert. Sie können nur aus dem Vogtlande, aus dem Frankenwalde und dem östlichen Thüringer Walde stammen; es sind Materialien aus zerstörtem älterem Gebirge, das in den genannten drei Gegenden demnach schon vor dem Oligocän seiner jüngeren Sedimentdecke beraubt, und nicht nur das, sondern auch tiefgründig verwittert gewesen sein muß, um dann bei eintretender Hebung so außerordentlich große Massen von total zersetztem Schiefergebirgsschutt hinauslassen zu können. Eine genaue Datierung der Denudationsfläche ist nicht möglich; man kann sie nur präoligocän nennen und weiß, daß sie vom jüngeren Mesozoikum ab entstand, weil von da ab Meeressedimente nichtmehr ihr aufgelagert wurden, und daß sie wohl seitdem permanent von den Denudationskräften bearbeitet wurde, soweit sich nicht fluviatile Schotter auf ihr absetzten. Der paläogeographische Hergang war also zusammenfassend kurz folgender: Durch spätmesozoisch-präoligocäne tektonische Bewegungen wurde das Land des heutigen thüringisch-fränkisch-vogtländischen Schiefergebirges zerbrochen, es entstanden Höhenunterschiede, die zur Entfaltung einer Denudation führten mit dem Enderfolge einer Peneplainisierung der Gegend. Gesteine ganz verschiedenen Alters traten an der Oberfläche dieser Peneplain zutage, und zwar schon vor dem Oligocän alte Schiefer im östlichen Thüringer Walde und im Harz, Buntsandstein und Muschelkalk an deren Rändern, Keuper im Innern des Thüringer Beckens. Die heutige, zum Teil im Schiefergebirge, zum Teil aber auch im Triasgestein liegende Hochfläche ist präoligocän, also jung angelegt und keinesfalls identisch mit der alten spätpaläozoischen. Weitere sekundäre tektonische und morphologische Veränderungen, die hier nichtmehr interessieren und das Wesen der Sache nichtmehr verhüllen konnten, gingen noch in postoligocäner Zeit vor sich.

Aus dem petrographischen Charakter der Transgressionskonglomerate einer jüngeren marinen Überlagerungsschicht auf einem älteren Festlande lassen sich Schlüsse ziehen über den Grad der Verwitterung, dem jenes Land vor der Transgression ausgesetzt war. So teilt Nathorst mit[1]), daß die Gerölle des an der Basis häufig konglomeratigen, über der Urgebirgsfläche transgredierenden unterkambrishen Fucoidensandsteines ausschließlich aus Quarz bestehen und nicht aus Rollstücken der Schiefer selbst, denen dieser Quarz entnommen ist. Es läßt sich dies dahin auslegen, daß die Verwitterung der alten Landoberfläche so tiefgründig bezw. langanhaltend gewesen ist, daß die weniger widerstandsfähigen metamorphen Schiefer und vulkanischen Gesteine gänzlich zerstört werden konnten und nur der unverwüstliche Quarz übrig blieb, der dann allein noch zu einemTransgressionskonglomerat von dem später eindringenden unterkambrischen Meere aufgearbeitet werden konnte.

k) Glazialbildungen.

Als wesentliches Glied einer paläogeographischen Darstellung mögen auch die Gletscher und Inlandeismassen erwähnt werden,

1) Nathorst, A. G., Sveriges geologi, Stockholm 1894, S. 117. Zitat und Inhaltsangabe nach Frech, F., Lethaea paleozoica, Bd. II, Stuttgart 1897—1902. S. 23.

deren Rekonstruktion aus dem Verlaufe der Moränenzüge mit ihren gekritzten Geschieben und aus den Gletscherschliffen eine nicht weiter zu erörternde Sache ist. Zu beachten wird sein, ob solche Glazialablagerungen rein terrestrisch sind, oder ob die Gletscher in's Meer kalbten und ihr Schutt marin zum Absatz gelangte. Ein Beispiel für das Letztere scheint aus dem Perm von Neusüdwales vorzuliegen in einem Profil[1]), das äußerst instruktiv ist für eine glazial-paläogeographische Demonstration:

System	Serie	Schichten	Mächtigkeit in engl. Fuß[2])
I. Trias	Hawkesbury-Serie, Gesamtdicke 2900 engl. Fuß	Hawkesbury-Sandstein	1000
		Narrabeen-Schichten	1900
II. Permo-Karbon-System, Gesamtmächtigkeit ca. 13 800 engl. Fuß[2])		Newcastle Kohlenschichten	1200
		Dempsey-Schichten	2000
		Tomago Kohlenschichten	700
	Obere marine Serie	1. Obere marine Schichten, über dem Branxton-Glazial-Horizont	3500
		2. **Branxton-Glazial-Horizont**	
		3. Obere Marinschichten, unter dem Branxton-Glazial-Horizont	1500
		Greta Kohlenschichten	130
	Untere marine Serie Gesamtmächtigkeit 4800 engl. Fuß	1. Marinsandsteine der Ravensfield-Serie	1000
		2. Schiefer mit gelegentlich verkommenden Foraminiferen	800
		3. Hapurs Hügel-Konglomerate und Tuffsandsteine	270
		4. Marine Schiefer	1000
		5. Marine (?) Schiefer mit Erraticum und dünnen andesitischen und basischen Lava-ergüssen	900
		6. Schiefer mit gelegentlich eingestreutem Erraticum, wahrscheinlich gekritzt	440
		7. Sandsteine mit Konglomeratbändern, nach unten in marine schieferige Lagen mit Rippelmarken übergehend	60
		8. **Lochinvar Glazialschichten**	300
III. Karbon		Tuffe, Sandsteine und Schiefer mit Rhacopteris und Calamites	1700

Die Ausdeutung des vorstehenden Profils ergibt außer den darin sich ausdrückenden zwei Hauptglazialphasen (Lochinvar- und Branxton-Glazialzeit) folgende Situation: Nach Ablagerung der ältesten Glazialmaterialien über dem Karbon zog sich das Eis vollständig zurück und ein Flachmeer ergriff Besitz von der zuvor vom Eis bedeckten Region. Das Eis muß auf eine sehr weite Entfernung vom Meere weggezogen sein, denn sonst würde man ja in den Marinschichten glaziales Material eingelagert finden müssen. Das ist in den nächstfolgenden Stufen 6 und 5 der Fall, die sich so deuten lassen, daß das nach der Zeit 8 zurückgegangene und in 7 völlig fehlende Eis einen unvollständigen Vorstoß gemacht und irgendwo in der Nähe in's Meer gekalbt haben muß, so daß in den marinen Schichten Erraticum nur eingestreut ist. Die kleine sekundäre Vorstoßphase, die keineswegs die Dimensionen

1) David, J. W. E., Discovery of Glaciated boulders at base of permocarboniferous System, Lochinvar, New South Wales. Transact. Roy. Soc. New South Wales for 1899, Vol. XXXIII, Sydney 1900, S. 154—159. (1 Tafel.)
2) 1 engl. Fuß = 0,3 m.

der ältesten Hauptglazialphase von 8 erreichte, ist wieder gewichen und läßt wieder eine rein marine Ausbildung zu. Die bald folgenden Greta-kohlenschichten nun scheinen geradezu zu beweisen, daß das Eis so völlig aus der näheren und weiteren Umgegend verschwunden war, daß eine wohlentwickelte Landflora wuchs, daß Flüsse vorübergehend Treibholz in's Meer brachten, das dort zu einem allochthonen Kohlenlager wurde. Reine Marinschichten in Zeit 3 machen schließlich einer neuen glazialen Ablagerung Platz, die sich uns als zweite Hauptglazialphase in gleicher Ausdehnung und Bedeutung wie die ältere Lochinvareiszeit kundtat. Fügt man hinzu, daß in der großen Interglazialzeit zwischen der Branxton- und Lochinvarzeit auch der Vulkanismus in der zuvor eisbedeckten Region sich regte, so gibt uns die Zusammenstellung der geophysischen Phänome: Eisbedeckung, kalbende Gletscher, Vulkanismus, Waldbedeckung, Eisvorstoß ein lebendiges paläogeographisches Bild.

Das Aufsuchen des Vergletscherungszentrums bezw. der Richtung, aus welcher Eismassen kamen, wird eine weitere wichtige Ergänzung zu derartigen paläogeographischen Rekonstruktionen bilden, umso mehr, als sich daraus eventuell auf die Lage nicht unmittelbar nachzuweisender Gebirgszüge schließen, oder über das Problem von Polverschiebungen ein Urteil gelegentlich dürfte gewinnen lassen. Es ergibt sich die Eisrichtung aus der Herkunft der zu Geschieben verarbeiteten Gesteine, aus dem Verlauf der Moränenzüge und aus der Richtung aufgedeckter glazialer Schliffe und Schrammen auf felsigem Untergrunde, wobei natürlich aus einem einzelnen Gletscherschliff allein die Richtung auf größere Entfernung nicht mit Sicherheit ableitbar ist. Wenn aber mehrere Anzeichen vorliegen, so läßt sich sehr wohl eine Durchschnittsrichtung angeben, und gerade die Untersuchungen[1]) der permischen Glazialablagerungen haben das überraschende Resultat ergeben, daß sich in Südaustralien und Nordindien das Eis von Süden nach Norden, in Südafrika dagegen von Norden nach Süden geschoben hat. (Vgl. die am Schlusse des Buches beigeheftete Glazialkarte.)

l) Chemischer Gehalt des Meerwassers.

Etwas, das sich nicht gerade auf die kartographische Darstellung bezieht, aber trotzdem das Bild, das wir uns von den früheren Meeren machen können, wesentlich ergänzt, ist die Beantwortung der Frage nach der chemischen Zusammensetzung des Meerwassers. Irvine und Woodhead haben experimentell an den verschiedensten marinen kalkschaligen Tiergruppen nachgewiesen, daß nicht nur zur Bildung ihrer Schalen, sondern überhaupt zu ihrer Existenz unbedingt die Anwesenheit von Kalkverbindungen notwendig ist[2]).

Im Präkambrium fehlen, wie bekannt, abgesehen von geringen Resten, fossile Organismen vollständig, und das Unterkambrium liefert hauptäschlich hornschalige. Die Abwesenheit präkambrischer Fossilien hat man bisher gewöhnlich dahin gedeutet, daß die Tiere der damaligen Meere entweder nackt waren, oder daß ihre Reste durch die Gesteinsmetamorphose verschwunden seien. Daly tritt entschieden im gleichen Sinne für eine reiche Entfaltung präkambrischen Meereslebens ein, weil

1) Koken, E., Indisches Perm und permische Eiszeit. N. Jahrb. f. Mineral. etc., Festband, Stuttgart 1907, S. 508. (siehe Karte!)

2) Irvine, R. and Woodhead, G. S., Secretion of carbonate of lime by animals. Proceed. Roy. Soc. Edinburgh 1888—1889, Vol. XVI, S. 349—352.

Digitized by Google

das in den eozoischen Sedimentgesteinen enthaltene, viele Petroleum für das Dasein einer reichen, wenn auch niederen oder planktonischen Tierwelt spreche. Demgemäß muß das Fehlen kalkschaliger Tiere seinen speziellen Grund haben, den DALY im Mangel an Kalksalzen im eozoischen und altkambrischen Meere erblickt. Eigentliche, Organismen- und Aas-fressende Raubtiere waren damals noch nicht vorhanden, und so konnten bei dem massenweisen Absterben der schalenlosen, meist planktonischen Tiere die Körper ungehindert zu Boden sinken, wo sie durch Fäulnisbakterien zersetzt wurden. Es entsteht Ammoniumkarbonat in sehr großen Mengen und schlägt das im Wasser gelöste Calcium und Magnesium als Karbonate nieder. Die eozoischen Meere waren also kalkfrei und somit eine Entwicklung kalkschaliger Organismen unmöglich; es wurden höchstens hornige Schalen gebildet und diese konnten fossil nicht erhalten bleiben. Erst mit Ende des Algonkiums änderte sich dieser Zustand, es überwog die Kalkzufuhr vom Lande über das im Meer durch die Fäulnisprozesse produzierte Ammoniumkarbonat, weil die ausgedehnte Gebirgsbildung eine stärkere Verwitterung und die Abfuhr detritogenen Kalkes und basischer Eruptivgesteine in die Meere veranlaßte. Dieses Verhältnis hielt auch in späteren Zeiten an, und so stellten sich vom Unterkambrium ab allmählich die kalkschaligen Organismen ein[1]).

Das ist natürlich eine bloße Annahme, und es wird schwer ein Beweis dafür oder dagegen zu erbringen sein. STEINMANN machte geltend[2]), daß der vorwiegend tonige Charakter der Sedimente im Algonkium und Kambrium auch die Zerstörung tonerdehaltiger Silikate und damit auch das Freiwerden von Alkalien, Kalkerde, Bittererde, Eisenoxyde zur Voraussetzung habe, zumal unter den vorsilurischen Massengesteinen die kalkreichen und basischen Typen keineswegs fehlten. Auch habe das kambrische Meer kalkreiche Typen genug besessen, wie Archäocyathiden, Cystiden, Gastropoden etc. Allerdings bleibt auch gegenüber diesem Einwande STEINMANN's zugunsten von DALY immer noch die Tatsache bestehen, daß das Prä- und Unterkambrium fast ausschließlich hornschalige Tiere geliefert hat, wenn auch schon im Algonkium kalkbildende Hydrozoen vorkommen[3]). Wie die Frage sich schließlich auch entscheiden mag: es ist uns hier ein Weg, eine Methode gezeigt, mit der wir solche Probleme in Angriff nehmen können. Ebenso schwierig ist die andere damit verknüpfte Spezialfrage zu beantworten, ob sich der Kochsalzgehalt des Meeres seit kambrischer Zeit wesentlich geändert hat. Darüber könnten wir nur Aufschluß bekommen, wenn idente physiologische Arten seit jener Epoche persistierten; gleiche Gattungen bezw. Typen, wie Lingula oder einige der von WALCOTT jüngst beschriebenen[4]) nektonischen und planktonischen Würmer und Krustazeen, genügen zu diesem Nachweis nicht, weil nahe verwandte Formen einerseits im Brack- und Süßwasser, andrerseits im Meere leben können, und speziell Lingula ist im höchsten Grade eury-

1) DALY, R. A., The limeless ocean of precambrian time. Americ. Journ. Science Vol. 173, New Haven 1907, S. 93—115.

2) STEINMANN, G., Die kambrische Fauna im Rahmen der organischen Gesamtentwicklung. Geol. Rundschau, Bd. 1, Leipzig 1910, S. 72.

3) WALCOTT, CH. D., Precambrian fossiliferous formations. Bull. geol. Soc. America, Vol. X, New York 1899, S. 233, Taf. XXIII.

4) WALCOTT, CH. D., Cambrian Geology and Paleontology. II. Smithson. Misc. Collect., Vol. LVII, Washington 1911, No. 3 u. 5.

Digitized by Google

halin, da sie z. B. im Schilfsandstein des Keuper, also in einer echten limnischen Fazies, in anderen Formationen und heute dagegen im Meere lebt. Es ist zu erwarten, daß sedimentpetrographische und -chemische Erwägungen uns mit der Zeit ein bestimmteres Urteil über den Salzgehalt früherer Meere gewinnen lehren.

Die Frage steht auch, wie BENECKE zeigt [1]), in einem gewissen Zusammenhang mit dem Problem der Permanenz der Ozeane (vgl. Kapitel VI). Wenn, sagt BENECKE, die großen Meerestiefen erst am Ende des paläozoischen Zeitalters angelegt wurden, wie man neuerdings mancherseits annimmt, dann müßte nachgewiesen werden, wo früher die großen Wassermassen geblieben sind; denn eine geringere Ausdehnung des Landes zu paläozoischer Zeit anzunehmen, dafür liegt kein Grund vor. Nehme man aber eine wesentliche Vermehrung des Wassers zu Ende des Paläozoikums an, dann müßten die bereits bestehenden salzigen Wassermengen verdünnt worden seien. Es wäre, um das Meer auch fernerhin zum Aufenthalt für die Tiere geeignet zu machen, eine neue Zufuhr von Salzen erforderlich gewesen. „Wo sollten diese aber herkommen? Was die Flüsse in's Meer tragen, hätte dazu nicht ausgereicht. Enthielten diese eine zur Bereicherung des Salzgehaltes des Meeres ausreichende Menge gelöster Bestandteile, so müßten unsere Meere immer salziger werden. Für eine solche Annahme liegen aber keine Anhaltspunkte vor. Im Gegenteil, Meere mit reichlichem Zufluß süßen Wassers, wie die Ostsee, sind salzarm. Die Meere haben zweifellos ihren Salzgehalt in sehr alter Zeit erhalten, als Wasser überhaupt auf der Erde bestandsfähig wurde ..." Unzweifelhaft waren unsere ältesten Meere salzig und zwar nach den in denselben erhaltenen Tierresten von gleicher oder ähnlicher Zusammensetzung, wie unsere heutigen Meere.

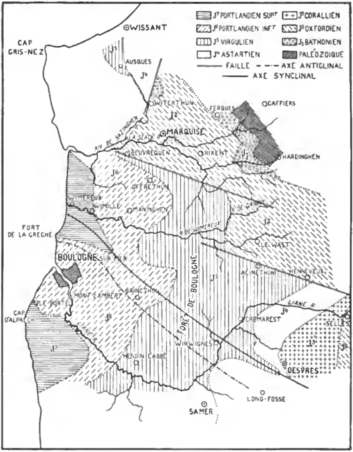
m) Geologische und erdmagnetische Karten vorweltlichen Bodens.

Die Möglichkeit, geologische Karten vorweltlicher Abtragungsflächen zu entwerfen, beruht auf der Tatsache [2]), daß das Meer bei seinem Vordringen über ein langsam versinkendes Land eine Abrasionsfläche schafft, die mehr oder minder eben ist. Der Boden dieses neuen transgredierenden Meeres würde uns also, wenn man ihn betrachten könnte, einen Horizontalschnitt durch ältere Formationen bieten. Die geologische Karte dieses Meeresgrundes würde uns demnach ein Bild geben von der Lagerung der getroffenen Formationen, leichter sogar noch als eine geologische Karte einer rezenten Landoberfläche, weil hier das Relief unruhig, dort aber eben ist. Es werden also die Antiklinalen auf jener geologischen Karte vorweltlichen Meeresgrundes, falls einfache Faltungen vorliegen, als Bänder älterer Formationen erscheinen, die Synklinalen als solche jüngerer Formationen. Waren aber die Schichten vor ihrer Abrasion nicht gefaltet, sondern steigen sie nur als Ganzes gegen ein altes Ufer zu an, dann werden sie sich als parallele Bänder längs der alten Küstenlinie zu erkennen geben. Natürlich kompliziert sich die Sache ungeheuer, wenn man es mit liegenden oder verworfenen und verwickelten Falten zu tun hat, und hier läßt

1) BENECKE, W., Eisenerzformation von Deutsch-Lothringen und Luxemburg, a. a. O. S. 554/555, Anm.

2) BERTRAND, M., Raccordement des bassins houilliers du nord de la France et du sud de l'Angleterre. Ann. d. Mines., Tome III, Paris 1893, S. 1—83.

sich kein Schema geben, sondern nur Beobachtung kann Aufklärung bringen. Um nun eine solche Karte zu entwerfen, muß man für jede einzelne geologische Stufe, die den Meeresgrund mit bilden half, ihre Konturen zu ermitteln suchen, und zu diesem Zweck muß man im einzelnen wissen, auf welchen älteren Schichten die Ablagerungen des betreffenden jüngeren Meeres liegen; hierzu kann man genaue geo-



Figur 68.

logische Karten des jetzigen Bodens verwenden, wenn einfache Verhältnisse vorliegen, wie sie oben angedeutet wurden und wie sie das Pariser Becken liefert, für das Bertrand beistehende Karte (Fig. 68) entworfen hat[1]).

Es kann aber auch sein, daß das Verhalten der heute an der Ober-

1) Bertrand, M., Sur la continuité du phénomène de plissement dans le bassin de Paris. Bull. Soc. géol. France, Sér. 3, Vol. 20, Paris 1893, S. 125.

fläche lagernden Schichten uns Aufschluß zu geben vermag über den tektonischen Zustand der in der Tiefe liegenden Formationen, und zwar auch dann, wenn sie in einer völligen stratigraphischen Unabhängigkeit von einander durch Diskordanz getrennt sind. Die Kohlenbecken von Nordfrankreich und Südengland, wie sie uns heute erscheinen, sind hervorgegangen aus Faltungen, unmittelbar nachdem die Kohlenlager sich gebildet hatten, also am Ende des Paläozoikums. Die Falten verliefen mehr oder minder parallel in ihrer Längserstreckung, bildeten erhobene Mulden und Sättel, die in der mesozoischen Zeit unter das Meer sanken, das sie abradierte und darüber seine Schichten im wesentlichen horizontal breitete. Es ist klar, daß die jüngsten an der paläozoischen Faltung noch mitbeteiligten Schichten naturgemäß nur im Kern der Mulden erhalten bleiben konnten; das aber waren die kohlenführenden Schichten, und so läuft das Problem, in der dortigen Gegend eine Lage der Kohlenformation zu verfolgen, darauf hinaus, eine Mulde des paläozoischen Systems zu verfolgen.

Nun hat Godwin-Austen schon früher die Regel aufgestellt, es scheine ein allgemein gültiges Gesetz zu sein, daß alle späteren tektonischen Bewegungen und Disturbationen genau den Linien früherer intensiver Faltung und Bruchbildung folgen und zwar einfach deshalb, weil diese Linien die des geringsten Widerstandes sind. Mit anderen Worten: die Falten der Erdkruste wiederholen sich stets an derselben Stelle. Wenn, meinte er, die alten Faltungen die Tendenz zu immer erneutem Hervortreten in der späteren Zeit haben, so müssen sie auch unter gegebenen Umständen den Verlauf von Küstenlinien bestimmt haben. Wenn das auch in einzelnen Fällen zutrifft, sagt Bertrand, so hängen doch die Küstenlinien gewiß auch von anderen Ursachen ab, wie die heutigen Küsten lehren, die so und so oft quer zur Streichrichtung von Falten verlaufen. Andrerseits aber kommt dem von Godwin-Austen ausgesprochenen Gesetz eine große Bedeutung zu, wie nachstehendes Beispiel zeigt.

Für den Verlauf der jungpaläozoischen Faltengebirge in Europa kann man eine mittlere Richtungslinie feststellen, der alle dazugehörigen Falten, abgesehen von kleinen Abweichungen, folgen. Nun hat Dollfus Untersuchungen darüber angestellt, wie das Tertiär des Pariser Beckens auf der Kreide liegt, und dabei hat sich ergeben, daß die Oberfläche der Kreide keineswegs überall von demselben Horizont gebildet wird, sondern daß das Tertiär auf ganz verschieden alten Stufen der Kreideformation liegt. Nimmt man an, daß die Abrasionsfläche des Tertiärmeeres ursprünglich im wesentlichen horizontal war und die Tertiärschichten auch horizontal abgesetzt wurden, so sind die der Auflagerungsfläche jetzt eigentümlichen Ondulationen als während der Tertiärzeit erworben zu betrachten. So konnte er mit Hilfe natürlicher und künstlicher Aufschlüsse Niveaukurven jener Oberfläche entwerfen, und diese zeigen nun Senkungen und Erhebungen, die zum Teil ein erhebliches Ausmaß besitzen. Vergleicht man aber das Schema dieser Wellungen des Pariser Beckens mit dem der paläozoischen Faltungen an seinem Rande, so zeigt sich derselbe Verlauf, wenn auch natürlich im einzelnen kleine Abweichungen vorhanden sind; dasselbe ist in England der Fall.

Nun war aber diese Faltenbewegung kein plötzlich vor sich gehendes, sondern ein oftmals sich wiederholendes Ereignis. Es läßt sich zeigen, daß verhältnismäßig bedeutende Bewegungen in einem kleinen Zeitraume sich abspielten, so z. B. zwischen den letzten Jura- und den

frühesten Kreideablagerungen, ebenso wie zwischen Kreide und Tertiär. Studiert man diese aufeinanderfolgenden Faltungen nach der oben angegebenen Methode dann noch im einzelnen und unabhängig von den übrigen, dann zeigt sich, daß sie sowohl mit den jüngeren, wie auch mit der Richtung übereinstimmen, die sich aus der Überlagerung aller dieser Faltensysteme ergibt. So sind also alle während des Mesozoikums und des Tertiärs entstandenen Falten im Bassin von Paris und London an demselben Platz und in derselben Richtung verlaufen, wie die paläozoischen.



Figur 69.

Als **sedimentpetrographische** oder **Fazieskarten** des vorweltlichen Meeresbodens kann man Darstellungen ansehen, wie sie in beifolgender Form (Fig. 69) Wagner für den Muschelkalk mitteilte: sie wurden schon im Kap. II als eigener paläogeographischer Kartentypus erwähnt (S. 15)[1]. Ihre Konstruktion beruht auf der einfachen Festlegung der heutigen Faziesgrenzen und vermittelt uns so nicht nur ein Bild der Meeresbedeckung, sondern auch des sedimentären Bodenmateriales damaliger Zeit.

1) Dortselbst auch das Literaturzitat.

So merkwürdig es vielleicht auch klingen mag, es ist nicht ausgeschlossen, daß es noch gelingen wird, Mittel und Wege zu finden, zur Herstellung roher erdmagnetischer Karten vorweltlicher Zeiten — ein Gedanken, auf den ich durch de Launay aufmerksam wurde[1]). Es hat sich schon gegen Ende des 19. Jahrhunderts durch Untersuchung von Folgheraiter gezeigt, daß alte gebrannte Vasen aus Ton eine eigene magnetische Inklination besaßen, die gut zu beobachten war, wenn Gefäße einer Herkunft in größerer Menge zusammengestellt waren. Daraus schloß man auf eine andersartige Inklination im Altertum an dem Ort, von wo der Ton stammte bezw. gebrannt worden war. Angeregt durch diese Beobachtung kamen Brunhes und David auf den Gedanken, die Deklination und Inklination der Magnetnadel für die jüngere geologische Vergangenheit festzustellen an jungkänozoischen, von Lavaströmen überdeckten und gebrannten Tonen bei Clermont im französischen Zentralplateau. Zu diesem Zweck entnahmen sie aus drei Aufschlüssen, die in demselben Lavastrom lagen, mehrere Tonwürfel, deren eine Kante parallel dem zuvor ermitelten derzeitigen magnetischen Meridian lief. Dabei ergaben sich übereinstimmende Abweichungen. Für jeden weiteren, auf die gleiche Weise untersuchten Lavastrom und den zugehörigen gebrannten Ton, ergaben sich abweichende Werte. Daraus könnte vielleicht das relative Alter der einzelnen Ströme festgestellt werden. Die Orientierung des magnetischen Feldes ergibt aber die Deklination zur Zeit des betreffenden Lavaergusses, denn David hat gezeigt, daß alle vulkanischen Gesteine eine konstant bleibende magnetische Orientierung besitzen, die wahrscheinlich dem magnetischen Erdfelde am Ort und zur Zeit der Erstarrung entspricht. Trachytische Steinfließen, deren eines Flächenpaar mit einer ursprünglichen Bankung des Gesteines zusammenfällt, wurden mit dieser Ebene horizontal gestellt und dabei ergab sich für alle Stücke der gleiche Inklinationswert. Die Steine entstammen also offenbar einem und demselben Steinbruche und haben in 200 Jahren wahrscheinlich keine magnetische Desorientierung erfahren. Später fanden weitere Untersuchungen an Basaltdecken und darunter befindlichen Tonlagern statt im Departement Cantal, und dabei ergaben sich an verschiedenen, bis 100 m von einander entfernt liegenden Stellen dieses Vorkommens die gleichen Abweichungen von Deklination und Inklination und zwar bis zu — 75°.

Eine Erklärung dieser Erscheinung könnte darin liegen, daß die im flüssigen Zustande labilen Moleküle der Ergußgesteine und des weichen Tones sich von dem jeweils herrschenden Magnetismus leicht orientieren ließen und diese Orientierung im Augenblick der Erstarrung beibehielten, so daß sie nachher durch veränderten Erdmagnetismus nichtmehr beeinflußt werden konnten. Wenn sich diese Entdeckungen bewähren, muß es möglich sein, paläographische erdmagnetisehe Karten einmal zu entwerfen.

1) de Launay, L., La science géologique, ses méthods, ses résultats, ses problèmes, son histoire, 2. Edit., Paris 1913, S. 262, Anm.

2) Brunhes, P. et David, P., Abhandlungen in den Compt. rend. Acad. Scienc. Paris, 1901, Tome CXXXIII, S. 155—157; Tome CXXXVII, 1903, S. 975—977; 1904, Tome CXXXVIII, S. 41—42; 1905, Tome CLXI, S. 567—568. (Nach Referaten von Mügge und Johnson, im N. Jahrb. f. Mineral. etc., 1902, Bd. II, S. 370; 1906, Bd. I, S. 37, 38; 1907, Bd. II, S. 389.)

Google

5. Prinzipielle Bedenken gegen paläogeographische Karten und ihre Unterlagen[1]).

Paläogeographische Skizzen werden zeichnerisch-technisch in der Weise entworfen, daß man eine die jetzige Erdoberfläche darstellende Erd- bezw. Landkarte zur Unterlage benützt, auf ihr die Punkte einträgt, an welchen sich zu einer bestimmten vorweltlichen Zeit Meer bezw. Land unmittelbar nachweisen läßt. Im übrigen werden diese Einträge auf Grund der bekannten stratigraphischen und tiergeographischen Methoden zu einem mehr oder minder geschlossenen Kartenbilde ergänzt. Technisch denselben Zweck erreicht man durch Auftragung der vorweltlichen Land- und Meeresgrenzen auf ein Transparent, von dem man mehrere über einer und derselben Kartenunterlage festkleben und sie nach Bedürfnis darüber schlagen kann, wenn mehrere paläogeographische Skizzen für ein und dasselbe Gebiet gemacht werden sollen, wie das in dem allerdings wissenschaftlich nicht einwandfreien paläogeographischen Abschnitt des populären Werkes: „Der Mensch und die Erde", zum erstenmal durchgeführt wurde[2]).

Durch unsere üblichen paläogeographischen Kartenkonstruktionen, wie sie im Kapitel II aufgezählt wurden, gewinnt man zwar, was unbedingt nötig ist, eine unmittelbare Vergleichsmöglichkeit zwischen der Verteilung von Land und Meer in der Jetztzeit und in einem bestimmten vorweltlichen Zeitabschnitt, begeht aber dabei den praktisch nicht zu vermeidenden Fehler, die vorweltlichen Meere und Kontinente auf die jetzige Erdoberfläche zu projizieren, die ja selbst erst das Produkt aller der darzustellenden vorweltlichen geographischen Verhältnisse ist und deshalb schon an und für sich nicht das richtige Gewand für den in der Vorzeit in seinen Dimensionen möglicherweise ganz andersartigen Körper abgeben kann. So müssen wir z. B. die frühere Land- und Meeresverteilung in Beziehung bringen zur jetzigen Pol- und Äquatorstellung der Erde, während wir ja zunächst gar nicht wissen können, und es auch höchst unwahrscheinlich ist, ob jene für alle Zeiten dieselbe war. Daß bei einer absoluten Polverlagerung auch die Geoidform sich geändert haben muß, bei einer relativen andere Gegenden der Erdoberfläche als heutzutage in die Region der Abplattung, bezw. äquatorialen Anschwellung des Geoids gerückt sind, ist selbstverständlich. Oder es hat sich die Rotationszeit der Erde verzögert, und in diesem Falle — die gleiche Pollage wie heute vorausgesetzt — muß der äquatoriale Wulst früher höher, die beiden Polarzonen müssen flacher gewesen sein, so daß auch in dieser Hinsicht unsere jetzigen Erdkarten von vornherein e x a k t e Grundlagen zur Rekonstruktion vorweltlicher Land- und Meeresgrenzen nicht sein können.

Weiterhin kommt in Betracht, daß auch die Größe und Ausdehnung der Erdoberfläche sich im Laufe der erdgeschichtlichen Zeitalter geändert haben dürfte, weil durch die Kettengebirgsbildung Zusammenstauungen und Überfaltungen in reichstem Maße eingetreten sind. Wenn man auf dem Standpunkte der Kontraktionstheorie steht,

---

1) Teilweise mit Abänderungen und Ergänzungen übernommen aus meinem (S. 11, Anm. 1) zitierten Aufsatz in der Geol. Rundschau, Bd. IV. Leipzig 1913.

2) Kraemer, H., Der Mensch und die Erde (ohne Jahreszahl; ca. 1905), Bd. I, Abschnitt 2 von P. Matschie, S. 79ff. (Mit Karten.)

muß man ferner auch annehmen, daß sich der Erdradius entsprechend verkürzt habe. Beispielsweise sollen ja die unsere mitteleuropäischen Alpen zusammensetzenden, stark verfalteten, überschobenen und geschuppten Sedimentärgesteine nach den Berechnungen[1]) A. Heims ehedem im ungefalteten Zustande einen ca. 120 km breiteren Raum eingenommen haben als heutzutage. Wenn sich auch die absolute Genauigkeit einer solchen Berechnung, die Heim neuerdings[2]) auf der Grundlage der Deckentheorie noch bedeutend erhöht, nicht verteidigen läßt, weil wir gewiß noch nicht in die Geheimnisse der Kettengebirgsbildung eingedrungen sind, und auch an und für sich nur Annäherungswerte gegeben werden können, so ändert das doch nichts an der Tatsache einer allmählichen, durch die Gebirgsbildung bewirkten oder in ihr wenigstens zum Ausdruck kommenden Verminderung des Umfanges der salischen Kruste. Da es nun auf der Erde nicht nur die Alpen, sondern eine sehr große Zahl mehr oder minder gleichalteriger Kettengebirge gibt, von denen der größere Teil nach dem Typus der Alpen aufgebaut sein dürfte, so kann man ermessen, eine wie ausgiebige Zusammenstauung die äußerste Erdhaut allein infolge der kretazisch-tertiären Alpenfaltungen erlitten hat, die Heim auf ein Minimum von ca. 1000 km berechnet hat.

Abgesehen davon kennen wir auch aus älteren Formationen bedeutende und ausgreifende Gebirgsfaltungen — besonders das Paläozoikum zeichnet sich hierin aus — und auch die sogenannten ruhigen Zeiten, wie die Juraperiode, haben uns vereinzelte Faltungen hinterlassen. Ganz zu schweigen von den vorkambrischen universellen Zusammenstauungen der Erdkruste, die im Algonkium sehr verbreitet waren und die im Archaikum überhaupt keinen Punkt der Erdoberfläche unberührt gelassen haben.

Die heutige Erdoberfläche ist also, wie uns schon diese kurzen Betrachtungen zeigen, das Produkt gerade aller der paläogeographischen Veränderungen, die wir mit unseren paläogeographischen Karten darstellen und für die wir eine jetztweltliche Oberflächenkarte zur Grundlage nehmen. Wenn wir daher etwa Mitteleuropa zur Jurazeit darstellen wollen, so müßten wir streng genommen, d. h. wenn es uns möglich wäre, eine Erdkarte zur Unterlage benutzen, auf welcher der Umfang der äußersten Erdkruste um so viel erweitert ist, als die nachjurassischen tektonischen Bewegungen, also insbesondere die tertiären Alpenfaltungen, ihr an Umfang genommen haben — eine Erdkarte der Trias wäre hier die richtige Unterlage.

Ich verweise weiter auf die im Kapitel IV behandelte Theorie einer Verschiebung der Kontinente. Wenn solche Theorien nicht einmal richtig, sondern bloß diskutabel sind, zeigt das schon, mit welchen Umständlichkeiten bezw. Vorsichtsmaßregeln die paläogeographischen Karten zu entwerfen sind.

Wir sehen daraus, ein wie verzerrtes und verschleiertes Bild uns jede bisherige paläogeographische Karte von vornherein geben muß und selbst dann noch geben müßte, wenn wir auch alle Vorkommen von Land und Meer aus einer Epoche genau kennen würden. Man muß im Auge behalten, daß sich möglicherweise auch einmal das merkwürdige

1) Heim, A., Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung, Bd. II, Basel 1878, S. 210.

2) — Der Bau der Schweizer Alpen. Neujahrsbl. d. Naturf. Ges. Zürich 110, 1908, S. 24.

Resultat ergeben könnte, daß bei einer Rekonstruktion eventueller Polverlegungen diese beiden Punkte keineswegs an genau antipodische Stellen der jetzigen Erdoberfläche zu liegen kommen, weil bei der unausgesetzten ungleichartigen tektonischen Bewegung der Kruste heutige Antipodenpunkte nicht unbedingt früheren entsprechen müssen. Daraus ergibt sich des weiteren, daß Gesetzmäßigkeiten und Rhythmen aus paläogeographischen Karten äußerst schwer werden abzulesen sein, und daß man den Nachweis und die Geltung von Gesetzmäßigkeiten paläogeographischer Natur nicht unbedingt davon abhängig machen darf, daß sie auf den paläogeographischen Karten rein zum Ausdruck kommen. Es ist in diesem Zusammenhang auch kein Zufall, daß der Rhythmus im Meereswechsel gerade in dem von Karpinsky bearbeiteten Gebiet zum erstenmal erkannt worden und deutlich hervorgetreten ist, weil eben Rußland einen der wenigen Teile der Erde bildet, die seit den ältesten Zeiten Gebirgsfaltungen nicht mehr erlebt haben (vgl. S. 163 ff.). Blättert man die Schuchert'schen Karten von Nordamerika (S. 22/23) durch, so ist auch hier der Rhythmus, wenn auch nicht gleich deutlich, so doch unverkennbar, und er erlischt vom Eocän, also von einer Zeit ab, wo die tertiären Faltungsbewegungen beginnen.

Es sei noch kurz darauf verwiesen, daß jede, auch die kleinste paläographische Skizze niemals sich durchweg auf anstehende stratigraphische Vorkommen wird stützen können (vgl. Kap. IX, Abschnitt 2). Sind es nur kleinere Zwischenräume und Lücken im Auftreten der Formationsvorkommen, so wird man bei gleichbleibendem Charakter und Fossilinhalt der Sedimente ohne Bedenken einheitliche geographische Flächen konstruieren. Finden wir in Nordamerika und Europa in den Sedimenten einer Zeit gleiche Tiertypen, so nehmen wir gewöhnlich unmittelbare Meeresverbindung an; das ist die tiergeographische Methode. Wir bedenken aber dabei nicht, daß die orthogenetisch-polyphyletische Entstehung derselben Typen in getrennten Meeresarealen solche Schlüsse über den Haufen werfen kann. Ich brauche zu diesem Zweck nur hinzuweisen auf die im Kap. IX, Abschnitt 3 erwähnten Möglichkeiten konvergenter Entstehung der einzelnen Typen in den verschiedensten Weltgegenden. Es können dabei ganz gut gleiche Formen resultieren, deren morphologische Identität noch lange kein Recht gibt, tiergeographische Wanderungen und damit unmittelbare Meeres- und Landverbindungen zu folgern.

Wenn wir absehen von den prinzipiellen Einschränkungen, die wir für die Benutzung rezenter Erdkarten zu paläogeographischen Darstellungen gemacht haben, können wir der Frage nähertreten, welche Projektionen der Erdoberfläche sich am besten eignen[1]).

Die bekannteste und vielgebrauchteste ist die winkeltreue Mercatorprojektion (Fig. 31, S. 183), welche an dem großen Übelstande leidet, daß die Polargegenden zu sehr verzerrt werden; und gerade diese sind es, welche für eine Kommunikation vorweltlicher Faunen zwischen der neuen und alten Weltgegend ziemlich häufig in Betracht kommen, und über deren Geschichte wir in manchen Punkten recht gut unterrichtet sind. Dagegen hat die Mercatorkarte den Vorzug, daß sie von Nord nach Süd folgende zonare Verhältnisse anschaulich zur

1) Groll, M., Kartenkunde. I. Die Projektionen. Leipzig 1912. (Sammlung Göschen.)

Darstellung bringen läßt, wie das etwa NEUMAYR's Juraklimazonenkarte[1]) zeigt.

Dem Notstand, die Polarregion allzusehr zu verzerren, steuert jede Projektion, welche die Polarregion auf eine tangential durch den Pol gelegte Ebene geworfen wiedergibt, und in dieser Beziehung ist die bekannte STEINHAUSER'sche Sternkarte für paläogeographische Zwecke sehr gut brauchbar (Fig. 70 nach SUPAN); auch die von LAPPARENT in seinem Traité de Géologie angewendete Erdkarte in flächentreuer azimutaler Meridianprojektion ist für die Polarregion ebenso brauchbar (vgl. die Wiedergabe in Fig. 3, S. 18). Für die Nordhemisphäre mit Ausschluß des dazugehörigen Teiles des Pazifik, für den mittleren Atlantik, Afrika, die australische Region und den westlich von Südamerika gelegenen Teil des Pazifik ist die von LAPPARENT angewandte Projektion sehr gut zu brauchen, aber außerordentlich störend ist die Verschiebung und Auseinanderzerrung von Südamerika und Afrika, weil in der Paläogeographie die Verbindungsfrage dieser beiden Kontinentalmassen eine außerordentlich große Rolle spielt.

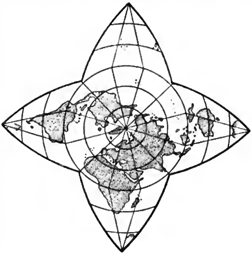


Fig. 70.

Entschieden in allen Fällen brauchbarer als die Mercatorprojektion ist die von KOKEN für seine Studie über die permische Eiszeit verwendete flächentreue Erdkarte von BLUDAU bezw. HAMMER, welche gegenüber der Mercatorkarte den Vorzug einer zusammengedrängten Polarregion und vor der LAPPARENT'schen azimutalen Meridianprojektion den eines ununterbrochenen und übersichtlichen Zusammenhanges auch der südatlantischen Region besitzt. Der Pazifische Ozean kommt, da wir von ihm paläogeographisch so gut wie nichts wissen, zunächst auch kaum in Betracht.

Nicht die gebogenen Parallelkreise, wie die BLUDAU'sche Erdkarte, sondern gerade und parallele, den Breitenlinien des Globus entsprechende besitzt die u. a. von KREICHGAUER für seine Polwanderungskarten angewendete homalographische Projektion von MOLLWEIDE und BABINET; sie bildet die Grundlage unserer Eiszeitkarte am Schlusse dieses Buches. Wichtig ist auch die winkeltreue Kreisprojektion von LAMBERT, welche für die Darstellung von Nord nach

1) Zitat siehe S. 15.

Süd verlaufender paläogeographischer Erscheinungen großen Wert besitzt (Fig. 71).

Man kann natürlich Verzerrungen und Zerreißungen, wie wir sie vorhin bei der von Lapparent angewendeten flächentreuen azimutalen Meridianprojektion bezeichnet haben, für die wichtigen Gegenden dadurch umgehen, daß man andere Projektionsmittelpunkte wählt; aber dann fallen eben dafür andere wichtige Teile der Erdoberfläche in die verzerrten Zonen, so daß man bei der Wahl seiner Karten lediglich von zwei Übeln das geringere wählen muß.

Eine der Lapparent'schen ähnliche Projektion wendet Kossmat in seinem kleinen Buch über Paläogeographie an, indem er ebenfalls die Nord- oder Landhalbkugel als Kreis darstellt, aber den pazifischen



Figur 71.

Ozean und die Südmeere ausfallen läßt (wobei die Südhälfte von Südamerika außerhalb des Kreises zu liegen kommt), da, wie Kossmat meint[1]), die meisten Probleme im Zusammenhang mit den auf der Landhalbkugel enthaltenen Kontinenten besprochen werden können. Jedenfalls hat auch diese, von der Lapparent'schen nicht wesentlich verschiedene Projektion den großen Vorteil einer übersichtlichen Darstellung der für paläogeographische Zwecke unentbehrlichen Nordpolarregion.

Im übrigen werden wir uns eben nicht auf eine einzige Projektion beim Entwerfen paläogeographischer Karten beschränken, sondern für die speziellen Zwecke die am besten geeignete auswählen. Auch

1) Kossmat, F., Paläogeographie. Geologische Geschichte der Meere und Festländer. Leipzig 1908 (Göschen), S. 6/7.

Digitized by Google

kann der Paläogeograph, wo er speziellere Verhältnisse darzustellen wünscht, Spezialkarten der einzelnen Länder und Gegenden anwenden, wobei die Wahl der richtigen bezw. am besten brauchbaren Projektion nicht schwer fällt.

Das beste ist und bleibt, besonders auch für didaktische Zwecke in Vorlesungen und Vorträgen, die gleichzeitige Mitbenutzung und Vergleichung des Globus — stets natürlich unter Vergegenwärtigung der Tatsache, daß zu keiner Zeit sich Erdradius und relative geographische Pollage gleich geblieben sind, und daß weder Globus noch Karten der Jetztzeit exakte absolute Unterlagen für paläogeographische Zeichnungen bilden.

Digitized by Google

X. Die Paläoklimatologie.

1. Der Begriff Klima.

Wenn sich ein Stern noch im Glutzustande befindet oder ihn eine erst vor kurzem gebildete Kruste noch überzieht, so daß der Boden heiß wie eine glühende Herdplatte und alles Wasser an seiner Oberfläche noch als Dampf in der Atmosphäre suspendiert ist, wird man die Temperatur und die atmosphärischen Zustände an seiner Oberfläche nicht gut mit „Klima“ im gewöhnlichen Sinne bezeichnen können, ebensowenig wie die meteorologischen Zustände jener Planeten, die fernab von den erwärmenden Strahlen der Sonne eine von der absoluten Weltraumkälte nicht weit entfernte Temperatur besitzen. Der Begriff „Klima“ wird somit auch für die Vorzeit der Erde vernünftigerweise einzuschränken sein auf solche atmosphärischen und Wärmeverhältnisse, welche innerhalb gewisser äußerster Grenzen die Existenz organischer Wesen gestatten. Es bleiben also von vorneherein für unsere Darlegung außer Betracht die ohnehin bis jetzt nur theoretisch zu erfassenden ältesten Zeiten des Präarchaikums, in denen noch eine vermutlich heiße Kruste den Erdball umspannte und höchstens kochende Meere vorhanden waren.

Man glaubte bis vor noch nicht langer Zeit (Neumayr z. B.), daß die heute bestehenden Klimagegensätze sich erst spät herausgebildet hätten, daß im Paläozoikum noch durchweg ein sehr ausgeglichenes Klima geherrscht und daß sich erst im Mesozoikum die Entwicklung von Klimagürteln vorbereitet habe. Diese Anschauung entsprang aus dem Unvermögen, paläozoische Faunenprovinzen und homöozoische Gürtel zu unterscheiden. Fußend auf dieser Meinung glaubte man früher, auch für die Beurteilung des paläozoischen Klimas noch käme der Einfluß der inneren Erdwärme in Betracht. Die alten Autoren im heroischen Zeitalter der Geologie, wie Werner, Hutton, Humboldt, gliederten das Urgebirge unmittelbar an das feuerflüssige Zeitalter der Erde an und vertraten darum folgerichtig die Meinung, daß lange Zeit hindurch das Klima der Erde beeinflußt gewesen sei von dem glühenden Innern, das seine Wärme durch die damals noch dünne Kruste hindurchgesandt habe. Diese Anschauung hielt sich in modifizierterer Form bis in die 70er Jahre des 19. Jahrhunderts, indem man annahm, daß erst seit mittelmesozoischer Zeit die Kruste so dick geworden sei, daß sich Klimazonen herausbilden konnten. Ferdinand Römer war wohl der Erste, der es unternahm, klimatische Unterschiede für das jüngere Mesozoikum auf Grund der faziellen Differenzierungen in der

Digitized by Google

Kreideformation nachzuweisen[1]). Unmittelbar danach fand sein Beispiel eine bewußte oder unbewußte Nachahmung durch MARCOU's Versuch einer Konstruktion „homöozoischer" Gürtel in der Jurazeit[2]), die er klimatisch ausdeutete. Im Jahre 1865 hatte SARTORIUS v. WALTERSHAUSEN es unternommen, auszurechnen, daß schon im Mesozoikum die Erdkruste so dick war, daß infolge ihres isolierenden Einflusses für die Beurteilung des Klimas nur die Sonnenwärme allein noch in Betracht käme[3]). Heute aber wissen wir, daß dieser Faktor überhaupt nichtmehr in Rechnung gestellt zu werden braucht, wenigstens sicher nicht für das algonkische und wohl auch kaum für den bisher bekannt gewordenen Teil des archäischen, geschweige denn für das paläozoische Zeitalter, das nunmehr, seit man ein Verständnis für die Dauer der ersten beiden gewonnen hat, geologisch so nahe an die Jetztzeit herangerückt ist. Schon in den ältesten Zeiten, die überhaupt praktisch einer paläogeographisch-paläoklimatologischen Erforschung zugänglich sind, muß eine viele tausend Meter dicke Kruste bestanden haben, welche zu einer absoluten thermischen Isolierung der Erdoberfläche vom glühenden Innern genügte. Denn wir haben ja schon im Archaikum und dann im Algonkium Gebirgsbildungen, also Krustenfaltungen von solchem Ausmaß, daß sie ohne absolute Zerreißung der Erdrinde und Freilegung glutflüssiger simatischer Massen nicht möglich gewesen wären, wenn die Kruste nicht damals schon eine Dicke besessen hätte, welche diese Gebirgsbildungsphänomene nur als verhältnismäßig oberflächliche Erscheinungen sich abspielen ließ. Eine derartige Kruste genügte aber bei weitem zur Unabhängigmachung des Klimas von der inneren Erdwärme. Außerdem hat sich neuerdings EKHOLM mit dieser Frage vom rein geophysikalischen Standpunkte aus beschäftigt[4]) und gefunden, daß die Erdkruste, unter welcher Rotgluthitze von 1000° herrschen müßte, nur etwa 30 m Mächtigkeit haben dürfte, wenn der Erdoberfläche ebensoviel Wärme von Innen, wie durch die Sonne von außen zugeführt werden sollte. Bei dieser Berechnung stützt er sich auf die Wärmeleitungsfähigkeit des Granites, die höher ist als jene der Sedimentärgesteine. Daß wir daher in den unserer Analyse zugänglichen Zeitaltern bis in's Archaikum zurück nicht mit der inneren Erdwärme als klimabestimmendem Faktor rechnen dürfen, ist sicher, obwohl ja die Metamorphosierung der archäischen und teilweise der algonkischen Gesteine den Fernerstehenden vielleicht zu einer solchen Annahme verleiten könnte.

Das Klima der Erde, sagen wir seit algonkischer Zeit, ist also allein bedingt von kosmischen und Oberflächenverhältnissen und zwar zunächst von der Sonnenbestrahlung, vorausgesetzt, daß nicht früher noch ein anderer heißer Weltkörper sich in der Nähe der Erde bezw. des Planetensystems herumtrieb, über dessen Existenz wir aber bisher keine Andeutungen haben. Auch über eine möglicherweise veränderte Konstellation

1) RÖMER, F., Die Kreidebildungen von Texas und ihre organischen Einschlüsse, Bonn 1852, S. 22—25.

2) MARCOU, J., Lettres sur les Roches du Jura et leur distribution géographique dans les deux hémisphères, Leipzig 1857—1860, S. 314ff. (Vgl. die oben im Kapitel II, S. 16 wiedergegebene Karte MARCOU's.)

3) SARTORIUS v. WALTERSHAUSEN, Untersuchungen über die Klimate der Gegenwart und der Vorwelt, mit besonderer Berücksichtigung der Gletschererscheinungen in der Diluvialzeit. Haarlem 1865.

4) EKHOLM, N., On the variations of climate. Quart. Journ. R. Meteorol. Soc., Vol. XXVII, London 1901. (Nach Referat von FRECH.)

Digitized by Google

der Planeten oder des Mondes, in dem Sinne, daß ein solcher Körper dauernd zwischen Erde und Sonne so kreiste, daß er etwa eine stetige größere oder geringere Sonnenfinsternis bewirkte, oder endlich dafür, daß früher aus unbekannten Störungsursachen vorübergehend die Erde der Sonne sich genähert habe, liegen derzeit keine Anhaltspunkte vor. Wenn man aber an die uns von der DARWIN'schen Mondtheorie gebrachten Erkenntnisse denkt (vgl. S. 68ff.), wird man schon in Erwägung ziehen können, daß die Erde in sehr früher Zeit auch der Sonne noch näher stand, falls sie überhaupt einmal aus ihr hervorgegangen ist. Indessen wären selbst durch derart veränderte Verhältnisse doch immer nur Modifikationen der Tatsache eingetreten, daß das irdische Klima in erster Linie bestimmt ist von der Sonnenbestrahlung, daß die Sonne überhaupt seit algonkischer Zeit die Quelle jeglicher Wärmequantität auf Erden ist, wenn sie sich über die absolute Kälte des Weltraumes auch nur um einen Grad erhebt.

Nächstdem treten nun eine Menge Bedingungen ein, welche bewirken, daß die klimatischen Verhältnisse der Erde sich nicht einfach als Funktion der Sonnenbestrahlung ausdrücken lassen. Zunächst ist die Erde eine in Rotation um sich selbst und im Umlauf um die Sonne befindliche Kugel. Von der Gestalt der Erde und der Stellung ihrer Achse zu ihrer Bahn hängt es ab, in welcher Art die Sonnenbestrahlung auf den einzelnen Teilen der Erdoberfläche sich ausprägt. Wir wissen, daß auf jeden Fall die Polarzonen, absolut genommen, weniger Wärme erhalten, als die mittleren Breiten, und diese hinwiederum weniger, als die Äquatorialgegenden. Stünde die Erdachse senkrecht zur Erdbahn, dann bliebe das ganze Jahr über die jeder Breitenzone zufließende Wärmemenge — abgesehen von der größeren oder geringeren Entfernung zur Zeit der Aphel- und Perihellage — dieselbe. So aber bedingt die schräge Achsenstellung einen Jahreszeitenwechsel, der eine in den Polarzonen am größten werdende Differenz in der Wärmezufuhr des Winter- und Sommerhalbjahres hervorruft.

Auch diese Verhältnisse würden zu einer Gleichzeitigkeit desselben klimatischen Charakters auf ein und demselben Breitegrad über die ganze Erde hinführen, wenn nicht eine Atmosphäre und eine Hydrosphäre die Erde umgäbe. In diesen beiden Elementen werden durch die primären Temperaturdifferenzen der Solarkonstante Ausgleichsströmungen erzeugt, in der Hauptsache darauf beruhend, daß aus den Äquatorialgegenden das warme Wasser und die warme Luft beiderseits polwärts abströmt, und umgekehrt dafür äquatorwärts die kühleren Luft- und Wasserströmungen zurückkehren — es tritt ein Wärmeausgleich ein. Jedoch kommt diese physikalisch zu fordernde und teilweise auch bestehende Erscheinung nicht rein zur Entwicklung, weil das Äußere der Erde keine homogene Panthalassa ist. Denn es gibt Festländer und Meere, und der Luftdruck über diesen und über jenen ist primär verschieden. Der verschiedene Gehalt an Feuchtigkeit und der infolge davon, sowie auch infolge der ungleichmäßigen Erwärmung über Land- und Meeresflächen ganz verschiedene Luftdruck erzeugen weiterhin vertikale Luftverschiebungen und Zyklone, deren Entstehung und Ausgleich nicht nur die erstgenannten meridional gerichteten (bezw. durch die Erddrehung diagonal abgelenkten) Luftströme modifiziert, sondern auch eine stetig wechselnde Luftbewegung besonders in den gemäßigten Zonen herbeiführt, so daß ein Schema für diese Luft- und damit Temperaturwechsel und -ausgleiche praktisch nichtmehr gegeben werden

kann. Auch infolge der ungleichmäßigen Beschaffenheit der Meeresbecken und der Kontinentalverteilung sind die temperaturausgleichenden Meeresströmungen in den einzelnen Regionen sehr verschiedenartig entwickelt, und so kommt es, daß die der Erde von der Sonne zugesandte Erwärmung in der allerverschiedenartigsten Weise verteilt wird.

Das Klima der Erde bezw. einzelner Oberflächenpartien ist also bestimmt von teils primären, teils sekundären Faktoren, nämlich:

1. von der Intensität der Sonnenbestrahlung;
2. von der Gestalt der Erde, ihrer Achsenstellung und ihrer Lage zur Sonne;
3. von der Verteilung von Wasser und Land bezw. der horizontalen und vertikalen Gliederung der Erdoberfläche;
4. von der Existenz und Zusammensetzung der Atmosphäre.

Die Gesamtfunktion aller dieser Faktoren in Hinsicht auf das Klima ist:

1. Erwärmung der Erdoberfläche;
2. Luftdruck bezw. Luftbewegung;
3. Meeresströmungen;
4. Wechselnder Wassergehalt der Atmosphäre und Niederschläge.

Diese Erscheinungen sind in ihrem Auftreten innig mit einander verwoben, hängen gegenseitig in der Art ihres Auftretens von einander ab und greifen im einzelnen auf äußerst komplizierte Weise in einander, die man sich durch folgende ganz rohe, in keiner Weise erschöpfende Skizze anschaulich machen kann. Die Sonne sendet ihre Wärmestrahlen. Die Kugelgestalt der Erde bedingt Zonenbildung, die schräge Stellung und das Durchlaufen der Bahn mit stets paralleler Achse bedingt den Jahreszeitenwechsel. Die Zonenbildung bedingt Passatwinde und Meeresströmungen, die verschiedenartige Konfiguration der Erdoberfläche bedingt Druckmaxima und -minima, also modifizierende Winde und Niederschlagsverteilungen. Die letzteren regulieren die Sonnenbestrahlung, in den Hochgebirgen bilden sich Eismassen, ebenso an den Polen, die abkühlend wirken, wenn sie nur erst einmal vorhanden sind. Ebenso kühlen die gewöhnlichen Niederschläge ab. Die Abkühlung vermindert die Verdunstung und damit die Niederschlagsmengen und führt indirekt wieder zu größerer Trockenheit usf. Man kann immer nur eine Reihe verfolgen, aber sobald man das tut, sieht man sie von anderen Reihen gekreuzt, so daß das Ganze einem Netze gleicht, wo kein Anfang und kein Ende der Fäden zu sehen ist.

Die Gesamtheit aller dieser Faktoren bezw. ihre Wirksamkeit für einen bestimmten Ort oder für die ganze Erde nennt man Klima.

2. Methoden zur Erforschung des Paläoklimas.

Von dem Klima nun ist in stärkstem Maße abhängig das Tier- und Pflanzenleben der Erde, und zwar sowohl in der Art seiner Verteilung nach Spezies und Genera, als auch in seinem körperlichen Habitus. Wenige Beispiele mögen an die Richtigkeit dieser Tatsache erinnern. Wir brauchen uns nur die Armseligkeit einer nordischen Flora mit ihren Gräsern und ihrem Heidekraut zu vergegenwärtigen und dann an ein Land wie Ceylon zu denken, um den Unterschied des feuchtwarmen Klimas mit dem so oft vom Winter oder von kalten Frühjahrs- und

Herbsttagen oder Nebeln unterbrochenen Klima am Pflanzenwuchs drastisch zum Ausdruck kommen zu sehen. Oder denken wir an die wasserbedürftigen Farrenkräuter und üppigen Moose und Schachtelhalme eines feuchten Waldbodens unserer Gegenden und stellen wir ihnen gegenüber die in brennender Sonnenhitze und Trockenheit lederharten Kakteen in baumlosen Gegenden Mexikos, oder die disteligen Wüstengewächse; die dichtpelzigen Tiere der Nordregionen oder kalten Hochregionen und die zarthaarigen tropischen Raubtiere; die armseligen Konchylienfaunen kälterer Meere mit der Üppigkeit und Farbenpracht derer, die uns am Strande warmer Meere angeschwemmt begegnen; die spärlichen Einzelkorallen des Mittelmeeres oder der kalten Tiefsee mit den hunderten von Metern mächtigen und kilometerweit die Küsten umsäumenden Riffen des Pazifik und Indischen Ozeans.

Es gibt stenotherme Tiere und Pflanzen, die, wie die Korallen nur in einer ganz beschränkten Schwankungen unterworfenen Temperatur zu leben vermögen, und eurytherme, die sich in weiten Temperaturgrenzen noch wohlfühlen; nahe verwandte Arten sind zuweilen an sehr verschiedene Wärmegrade angepaßt. Im ganzen sind Tiere weniger abhängig von Temperaturschwankungen als Pflanzen, was daher kommt, daß sie entweder als Warmblüter ihre Temperatur selbst regulieren oder etwa der Kälte gegenüber wenig empfindlich sind. So können Frösche und Landschnecken gelegentlich einfrieren und nach längerer Zeit beim Auftauen des Eises wieder zu neuem Leben erwachen; bekannt ist ja auch die Fähigkeit der letzteren jahrelang ohne Verlust der Lebenskraft einzutrocknen. Abgesehen davon kommt auch das jahreszeitliche Wandern als Schutzmittel gegen gewisse klimatische Veränderungen zuweilen in Betracht. Im allgemeinen, können wir sagen, werden gleichartige klimatische Verhältnisse in verschiedenen Regionen auch gleiche Tier- und Pflanzenwelten voraussetzen lassen, in dem Sinne wenigstens, daß ein gleicher Gesamthabitus auch in pflanzen- und tiergeographisch verschiedenen, aber klimatisch sehr ähnlichen Provinzen an den verschiedensten Gattungen und Spezies zum Ausdruck gelangt.

Die Existenz der Tiere hängt übrigens weniger von einer größeren oder geringeren Durchschnittstemperatur als von der Beständigkeit der letzteren ab. Tropenbewohner sind in weitem Maße an Kälte anpassungsfähig, wenn diese nur gleichmäßig ist. Außerdem können sie sich durch ein Haarkleid weitgehend schützen, wie wir es an dem wollhaarigen Rhinoceros und Mammut der Eiszeit sehen. Auch das Haarkleid kann nach den Jahreszeiten verschieden sein, und gerade an den in Sibirien aus gefrorenem diluvialem Schlammboden ausgegrabenen Mammutleichen finden wir ein sommerliches Haarkleid, wie der Vergleich mit dem Renntier ergibt[1]).

Für die tropischen Meere ist im allgemeinen starke Kalkbildung, bei der ja in allererster Linie Organismen beteiligt sind, charakteristisch. Murray hat darauf aufmerksam gemacht[2]) und durch eingehende Vergleiche auch nachgewiesen, daß die Kalkausscheidung der Marinorganismen in den Tropen sehr viel bedeutender ist, als in kälteren Gegenden. Nicht nur die einzelnen Individuen — man vergleiche

1) Wolosowitsch, K., Die Ausgrabung des Mammuts am Sanga Jurach im Jahre 1908. Bull. Acad. Imp. Sci. St. Pétersbourg 1909, Vol. III, S. 437.

2) Murray, J. and Irvine, R., On Coral Reefs and other Carbonate of limeformation in modern. Seas. Proceed. Roy. Soc. Edinburgh, Vol. XVII, 1889/1890, S. 79—109.

Molluskengehäuse der Nordsee und des Indischen Ozeans —, sondern auch die absolute Menge des produzierten Kalkes ist in den Tropen unvergleichlich viel größer. Dabei ist abzusehen von großen Tiefen, wo sich bekanntlich eine Kalkabnahme bemerkbar macht; das kommt für uns hier nicht in Betracht.

Bei der geringen Menge des im Meerwasser gelösten kohlensauren Kalkes, kann von einer direkten Aufnahme desselben und unmittelbarer Verwendung zum Schalenaufbau keine Rede sein; vielmehr wird durch tierisches Ammoniak aus anderen, im Meerwasser häufigen Kalksalzen der kohlensaure Kalk erst im Organismus selbst gefällt. Das Ammoniak resultiert aus zerfallenden Eiweißverbindungen, und dieser Prozeß geht im warmen Wasser intensiver und rascher vor sich, als im kalten. Murray beruft sich auf Experimente, aus denen erhellt, daß aus Wasser mit verschiedenartigen Kalkverbindungen die Tiere kohlensauren Kalk abspalten können; bemerkenswert ist auch, daß sich in der unmittelbaren Nachbarschaft von Korallenriffen das Meerwasser mit Ammoniak anreichert.

Von dem Klima ist ferner durchaus abhängig die Art des Wasserkreislaufes mit seinen verschiedenen Folgen, die Intensität und Art der Verwitterung, also Erosion, Denudation, Deflation mit ihren geomorphologischen und petrographisch-sedimentären Endprodukten auf dem Lande und im Meere. Die charakteristischen Verwitterungsgrodukte wurden schon im Abschnitt über die Landablagerungen behandelt; wir können hierauf kurz verweisen. Grobe Konglomeratbildung an Küsten, sofern diese Gesteinstrümmer nicht von der Küstenzerstörung durch die Brandung herrühren, und mächtige Anhäufung von klastischen Sedimenten in landnahen Meeresgebieten zeigen uns den Wasserreichtum des umgebenden Landes an und lassen daher auf ausgiebige Niederschläge schließen. Aus den Moränen und glazialen Schottern leiten wir die ehemaligen Vereisungen ab. Wenn, wie schon S. 222 erwähnt, aus den tropischen Regionen mit Lateritverwitterung die Flüsse rotbraune Schlammassen in das Meer befördern, so werden die küstennahen Sedimente dort entsprechend gefärbt. Oben wurde schon auf die intensive Kalkbildung der Marinorganismen tropischer Meere hingewiesen, und auch die Milliarden planktonischer Globigerinen, die täglich zur Tiefsee hinabregnen und dort den Globigerinenschlick bilden, sind Bewohner warmer Strömungen oder warmer Meere, so daß wir das Vorherrschen kalkiger Sedimente als Charakteristikum warmen, tropischen Wassers bezeichnen dürfen, während kieselige Organismen, wie Radiolarien und Diatomeen dem kälteren Wasser angehören, und daher kieselige Sedimente, soweit sie von solchen Organismen herrühren, also insbesondere der Radiolarien- und Diatomeenschlick der jetzigen Meere, das Charakteristikum der nichttropischen Wasser sind. Im übrigen bieten die Marinsedimente weniger Merkmale ihrer klimatischen Bedingtheit dar, als die Landablagerungen, weil diese unmittelbar von den chemischen und physikalischen klimatischen Agentien bestimmt sind, jene dagegen nur mittelbar. Auch verraten die Pflanzen weit mehr über den klimatischen Charakter ihres Standortes, als Tiere, und autochthone Pflanzen außer Algen finden sich nur in Land- bezw. Süßwasserabsätzen.

Auch der Wechsel in der Sedimentation zeigt möglicherweise einen klimatischen Wechsel an, wie es oben S. 272 nach Blytt schon dargestellt wurde, weil mit der Änderung des Klimas die Niederschlags-

verhältnisse, damit die Erosion, die Art der Verwitterung, die Transportkraft der Flüsse sich ändern und so auch die Struktur der küstennahen Meeresablagerungen. PHILIPPI erklärt die Tatsache[1]), daß gegen die Antarktis hin vielfach der abyssische Globigerinenschlick nach unten kalkärmer und von rotem Tiefseeton unterlagert wird, nicht wie KRÜMMEL durch eine jungzeitliche Aufwärtsbewegung des Bodens, sondern aus einem jüngst vor sich gegangenen klimatischen Wechsel. „Das klastische Material, das in den subantarktischen Meeren zu Boden sinkt, stammt im wesentlichen von Eisbergen; sinken die Temperaturen, so wird sich im allgemeinen die Zahl der Eisberge vermehren, dem Meeresboden wird daher mehr Gesteinsdetritus zugeführt und der Kalkgehalt, den hauptsächlich planktonische Organismen liefern, sinkt dementsprechend. Der untere, kalkärmere Teil der subantarktischen Grundproben ist danach wahrscheinlich in einer kälteren Periode, vielleicht noch in einer Phase der quartären Eiszeit gebildet worden. In den niederen Breiten machte sich die Eiszeit hauptsächlich als Pluvialperiode geltend; hier waren es die Flüsse, die größere Mengen von Schlamm dem Meeresboden mitteilten und dadurch den Kalkgehalt herabdrückten."

Wie heutzutage, so muß auch in der Vorzeit das Klima auf die Gestaltung der Erdoberfläche, auf die Entstehung der Ablagerungen und auf die Art und Verteilung von Tieren und Pflanzen gleichermaßen eingewirkt haben. Der Gesteinscharakter der Ablagerungen und die Fossilien in ihnen sind also das Mittel, durch das wir, unter Vergleichung mit denen der Jetztzeit, auf die klimatischen Zustände der Vorwelt Schlüsse zu ziehen vermögen. Dieser Gedanke und seine praktische Anwendung im einzelnen Falle ist nicht nur die älteste, sondern auch bis jetzt die zuverlässigste und unentbehrlichste Methode zur Bestimmung der vorweltlichen Klimate. Einige Beispiele mögen die Anwendung jenes Grundsatzes erläutern.

Die ausgedehnten Ablagerungen von Gletschermaterialien, Schottern, Moränen in Nordamerika, Nordeuropa, den Alpenvorländern und in Gebirgen der Erde, die heute keine oder nur noch relativ minimale Gletscher tragen, haben zu der Folgerung der großen diluvialen Eiszeit geführt, wie wir sie in gleicher Ausdehnung auf der Südhemisphäre, in Australien, Indien, Südafrika und in Spuren auch in Südamerika zur Permzeit kennen. Das ist wohl der einfachste und klarliegendste Fall der Erkenntnis paläoklimatischer Phänomene aus dem rein petrographischen Charakter von Ablagerungen.

Roterdebildung ist an ein niederschlagsarmes, trockenes und warmes Klima geknüpft, und in den Tropen selbst ist das charakteristische Verwitterungsprodukt der rotbraune Laterit. Trotzdem ist es nicht ohne weiteres angängig, aus der roten Farbe gewisser Formationen bezw. Ablagerungen (Rotliegendes, Buntsandstein etc.) auf die klimatischen Verhältnisse zu schließen und diese Rotfärbung mit großer Hitze und Trockenheit in Verbindung zu bringen, ehe man nicht im Klaren darüber ist, ob die rote Farbe nicht von der Zersetzung und mechanischen Zerstörung roten Urgebirges oder roter vulkanischer

1) PHILIPPI, E., a. a. O. (vgl. das Zitat auf S. 219).

Digitized by Google

Gesteine (Granit, Porphyr) herrührt, wie das für versehiedene Ablagerungen in Nordamerika und Skandinavien zutrifft[1]).

Lateritische Einschwemmungen, im allgemeinen das Kennzeichen heutiger Tropengegenden, sollen die jurassischen roten Alpenkalke der Adnether Fazies gefärbt haben, das Material, aus dem sie sich bildeten, wäre also aus einem Festland mit Tropennatur beigeschwemmt worden[2]), und so erlaubten sie einen klimatologischen Rückschluß. Dieser wird bestätigt dureh die Anwesenheit von Korallenriffen im benachbarten fränkisehen Jurameer. Der Nachweis einer echten fossilen Wüste scheint STROMER V. REICHENBACH für das Jungtertiär Ägyptens gelungen zu sein[3]), wo sich im Wadi Faregh in einem sehr grobkörnigen Quarzsandstein polierte, an den Ecken wenig gerundete, größere gebräunte Kiesel finden, die im Gestein selbst schon diesen Charakter haben, also nicht erst durch die heutigen Wüsteneinflüsse so geworden sein können. Dagegen ist der Wüstencharakter vieler älterer roter Sandsteinbildungen, den WALTHER seit vielen Jahren propagiert hat, zweifelhaft, teils weil heutige Wüstensande nicht rot, sondern vorwiegend gelb sind, und ihre gelegentliche Rotfärbung aus der Aufarbeitung von rotem älterem Gestein herrührt; teils weil viele jener Vorkommen auf regelmäßige Beteiligung starker Niederschläge schließen lassen. Die für heutige Wüsten typischen braunschwarzen Verwitterungskrusten sind meines Wissens bisher nur in dem einen vorhin erwähnten Beispiel aus Ägypten sichergestellt. WALTHER hat denn auch inzwischen den Begriff Wüste für jene alten Sandsteinformationen stark modifiziert und betraehtet[4]) jene „Urwüsten" nichtmehr als vollkommene Analoga der heutigen Trockenwüsten.

„Man wird", schreibt WALTHER in seiner „Geschichte der Erde und des Lebens", „jenen alten Wüsten nicht völlig gerecht, wenn man sie ohne weiteres mit den abflußlosen Regionen der Gegenwart vergleieht; denn heute spielt die Pflanzenwelt selbst in den trockensten Gebieten eine unvergleichlich größere Rolle als damals. Abgesehen von den wenigen Farnen, Selaginellen und Characeen, welche in den heutigen Wüsten am schattigen Nordabhang der Gebirge und in feuchteren Talsehluchten leben oder die Sümpfe der Oasen erfüllen, gehört die gesamte heutige Wüstenflora zu den Phanerogamen ... Diese ganze heutige Wüsten- und Steppenflora fehlte dem Altertum der Erde, und weite Flächen, die heute als Halbwüsten nur zu gewissen Zeiten den Eindruck trostloser Öde machen, sich aber gelegentlieh in einen blühenden Garten verwandeln, waren damals völlig unbelebt. Die hohe Bedeutung der Pflanzendecke und besonders ihres im Boden verankerten Wurzel-

---

1) Vgl. KATZER, F., Üher die rote Farhe von Schichtgesteinen. N. Jahrb. f. Mineral. etc., Bd. II, Stuttgart 1899. S. 177—181. Hier wird starke Besonnung und Wärme für die Entstehung der Rotfärhung angegehen, während gewisse Laterite in Auatralien, die sich nicht streng auf die tropische Region heschränken, von E. S. SIMPSON (Laterite in Western Australia. Geol. Magaz. Dec. V, Vol. IX, London 1912, S. 399—506), auf Verwitterung in Begleitung abnormer Regenverhältnisse zurückgeführt wird.

2) NEUMAYR, M., Erdgeschichte. 2. Aufl., von V. UHLIG, Bd. I, Leipzig 1895, S. 454.

3) STROMER V. REICHENBACH, E., Geographische und geologische Beobachtungen im Uadi Natrûn und Fâregh in Ägypten. Abh. SENCKENBERG. Naturf. Ges. Frankfurt a/M. 1905, Bd. 29, S. 87

4) WALTHER, J., Das Gesetz der Wüstenhildung in Gegenwart und Vorzeit, Leipzig 1912, 2. Aufl., S. 304 ff.

schopfes für die Befestigung der Verwitterungsdecke auf dem unverwitterten Felsen, die damit eng verknüpfte Durchsetzung des Bodens mit den Stoffwechselprodukten und verwesten Überresten der Flora ... wird als kurzer Hinweis genügen, um den Gegensatz zu bezeichnen, der zwischen jenen uralten fossilen und den rezenten Wüsten besteht ... Denken wir uns einmal die gesamte Dikotyledonenflora der tropischen Urwälder weg und machen wir uns klar, daß jene ältere Flora nur in der Nähe von dauernden Wasserflächen existieren konnte, daß erst während der Karbonzeit eine reichere Besiedelung der Festländer erfolgte, aber lange Zeit auf wasserreiche Oasen oder die Ufer der Flüsse beschränkt blieb, dann können wir das seltsame farbenreiche Landschaftsbild verstehen, dessen versteinerte Überreste in den roten Sandsteinen und Konglomeraten, welche diskordant die Senken zwischen zackigen Felsen erfüllen, und in den eingeschalteten Kohlenflözen oder den grauen und roten sandigen Tonen uns erhalten ist."

Das unterscheidende petrographische Merkmal zwischen den alten Urwüsten und den heutigen ist eben, äußerlich genommen, die Buntheit der Ablagerungen, wofür Walther den bezeichnenden Ausdruck „Buntwacken" einführt. Sie behielten ihre lebhaften Farben, weil die reduzierende Wirkung verwesender Pflanzenstoffe fehlte. Diese Überlegungen stimmen sehr gut mit der Tatsache, daß uns in der mesozoischen Zeit zum letztenmal solche aus „Urwüsten" entstandene Buntwacken entgegentreten und zwar in stetiger Abnahme von der Trias an. Die Buntsandsteinformation liefert sie uns noch, während schon Jura (oberer Teil des Gondwana- und Karroosystems) und Kreide (Nubischer Sandstein) nur noch vereinzelt solche Vorkommen bieten — die Pflanzenwelt hatte von da ab das Land völlig erobert und sich auch an die ungünstigsten Verhältnisse angepaßt. Im übrigen ist, wie einmal Herr Dr. E. Fischer in München in einem Vortrag ausgeführt hat, diese ganze Urwüstenfrage eine bodenkundliche, und es ist zu erwarten, daß uns diese jung emporblühende Spezialwissenschaft erst exakte Kriterien an die Hand geben wird, mit deren Hilfe der teilweise noch auf so schwachen Grundlagen ruhenden vorweltlichen Wüstenfrage beizukommen sein wird.

Ein weiteres, sehr wichtiges Hilfsmittel zur Erforschung des vorweltlichen Klimas bieten der Habitus und die biologischen Anpassungserscheinungen der Floren und Faunen.

Im Tertiär finden wir in der Polarregion, also etwa in Grönland, Formen wie Populus, Sequoja, Ginkgo, in unseren Gegenden Palmen; wir finden im London-Pariser Meeresbecken eine Konchylienfauna, wie sie heute in den Tropen und Subtropen lebt. Wir sehen im Jungtertiär diese Konchylienfauna allmählich ersetzt durch Typen, die wir heute im kälteren Wasser antreffen, und wir schließen aus alledem auf ursprüngliche große Wärme in der Nordregion, die vor der herannahenden Eiszeit schwand.

Handlirsch, der ausgezeichnete Kenner fossiler und rezenter Insekten, hat darauf aufmerksam gemacht, daß die Holometabolie dieser Tiere eine Anpassung an Kälteperioden ist, während umgekehrt die Heterometabolen ausgesprochen thermophil sind. Die ältesten Insekten, die wir kennen, sind die des Karbon, wo sie schon in großer Anzahl auftreten. Es sind nur heterometabole Formen bis dahin vorhanden. Im Mesozoikum tritt unvermittelt die Holometabolie in den verschiedensten Gruppen gleichzeitig auf. Aus dem Perm kennt man

so gut wie keine, dort muß sich der Übergang vollzogen haben. Und so drängt sich nach HANDLIRSCH auf Grund der Insekten allein schon die Annahme einer Verschlechterung des Klimas am Ende des Paläozoikums auf. „Nun wissen wir ja, daß eine permische Eiszeit existierte, die wohl keiner Bestätigung durch die Paläo-Entomologie mehr bedarf, aber es bleibt immerhin interessant, daß sich die Wirkung eines solchen Ereignisses auch schon auf diesem Gebiete nachweisen läßt, und wir können es daher vielleicht wagen, aus anderen analogen Erscheinungen auf ähnliche Ursachen zu schließen." Eine solche ist das Entstehen von Riesenformen. Solche leben in der heutigen Insektenwelt in den warmen Regionen. Nun beträgt nach HANDLIRSCH die durchschnittliche Vorderflügellänge bei den heutigen Insekten Mitteleuropas etwa 7 mm, bei denen des tropischen Asien 16 mm; im Unter- und Mittelkarbon in unseren Breiten aber 51 mm. Im Oberkarbon und Perm (Eiszeit!) sinkt das Durchschnittsmaß wieder auf 20—17 mm herab. Diese Durchschnittsmaße wechseln dann späterhin und schnellen im oberen Jura, wo wir, wie später gezeigt wird, ein warmes Klima auf der ganzen Erde annehmen dürfen, wieder auf 22 mm empor, übertreffen also das heutige Mittelmaß[1]).

Vielleicht läßt sich späterhin auch die Riesengröße der Reptilien im mittleren und jüngeren Mesozoikum teilweise mit solchen Verhältnissen in Zusammenhang bringen. Jedenfalls ist zu erwarten, daß uns gerade die neuerdings so bewußt wieder in den Vordergrund des Interesses tretende Paläobiologie die allerwertvollsten Hilfsmittel zur Beurteilung der wechselnden vorweltlichen Klimazustände an die Hand geben wird, besonders auch was die Landbewohner betrifft[2]). Umgekehrt ist auch die Paläobiologie auf's engste mit Stratigraphie, Sedimentpetrographie und Paläogeographie verknüpft.

Einen interessanten Versuch in dieser Richtung haben die beiden

---

1) HANDLIRSCH, A., Die Bedeutung der fossilen Insekten für die Geologie. Mitteil. Geol. Ges. Wien, Bd. III, 1910, S. 503—522.

— Einige interessante Kapitel der Paläo-Entomologie. Verh. k. k. zool.-botan. Ges. Wien, Jahrg. 1910, S. 160—185.

2) Hier, in diesem Gedankenzusammenhang, scheint mir eines der kräftigsten Argumente gegen das in letzter Zeit oft geltend gemachte Bestreben zu stecken, die Paläontologie im Lehr- und Forschungsbetrieb von der Geologie zu trennen. Ebenso, wie der Paläogeograph nicht nur paläobiologische Kenntnisse haben, sondern auch in paläobiologischen Fragen selbständig urteilsfähig sein muß, so kann umgekehrt der Paläobiologe keinen Schritt in seiner Forschung tun, wenn er in stratigraphischen, paläogeographischen und paläoklimatologischen Fragen nicht selbständig zu forschen und sich ein Urteil zu bilden vermag. Solange man unter Paläontologie nur Schaffung von Gattungen und Arten und systematisches Bestimmen, solange man unter Paläobiologie nur vergleichende Anatomie fossiler und rezenter Formen verstand, war ja selbstverständlich eine auch äußerliche Verknüpfung (z. B. Sammlungen!) mit der Zoologie höchst wünschenswert. Aber jetzt, wo die Paläontologie soweit gekommen ist, daß sie nur fortschreiten und zu vertieftem Verständnis der vorweltlichen ausgestorbenen Formen gelangen kann, wenn sie lernt, diese zu verstehen im Zusammenhang mit ihrer einstigen Umwelt, käme eine Trennung von Paläontologie und Geologie geradezu einer Unterbindung des Fortschrittes der Paläobiologie gleich. Die Lösung der Streitfrage liegt meines Erachtens darin, daß der Paläobiologe zugleich ein Paläogeograph sein muß, und nur in der engsten Vereinigung beider Disziplinen liegt für jede die Möglichkeit zum Fortschritt. Schließlich gehört zur Paläobiologie auch eine rationelle Tiergeographie der Vorzeit, und auch diese ist in erster Linie Paläogeographie. Ich könnte es also nur bedauern, wenn man daran gehen wollte, selbständige Lehrstühle für Paläontologie zu errichten, ohne daß gleichzeitig auch die Lehr- und Forschungspflicht für Stratigraphie und Paläogeographie damit verknüpft würde.

Harlé mit den großen Flugsaurieren des Spätmesozoikums und den großen Libellen der Karbonzeit gemacht, aus deren Körperverhältnissen sie Anhaltspunkte für den Luftdruck in jenen Zeiten gewinnen wollten[1]). Die zum Fluge nötige Kraft wächst nicht in einfachem Verhältnis zur Körpergewichtszunahme bezw. Körpergröße. Sind die Dimensionen viermal so groß, so bedarf dieses Tier einer Kraft, die pro Einheit seines Gewichtes doppelt so stark ist, als vorher. Mit anderen Worten: dasselbe Gewichtsteil, das vorher mit einem Druck = 1 kg gehoben wurde, bedarf jetzt im Verband mit den hinzugekommenen einer doppelt so großen hebenden Kraft = 2 kg. Die größten heutigen Vögel haben eine Flügelspannweite von höchstens 4 m; das fliegende Kreidereptil Pteranodon soll in einzelnen Exemplaren bis zu 8 m Flügelspannweite besessen haben. Im Karbon gibt es Libellen mit 70—80 cm Flügelspannweite. Nach dem obigen Gesetz über das Verhältnis von Kraft- und Größenzunahme müßten diese Tiere über eine relativ ungeheure Flügelkraft verfügt haben, um sich in die Luft zu erheben. Da diese ihrer Organisation nach nicht zur Verfügung stand, so bleibt nur eine andere Möglichkeit übrig, nämlich die eines weit stärkeren Luftdruckes in jenen Zeiten. Die Widerstandsfähigkeit der Luft variiert proportional ihrer Dichte. Um sich in einer vierfach dichteren Atmosphäre emporzuheben, d. h. um denselben Luftwiderstand zu finden, wie in einer viermal dünneren Luft, würde die halbe Schnelligkeit genügen, also die Kraftanstrengung auf die Hälfte reduziert sein können. Eine Vermehrung des Luftdruckes im Verhältnis 1:4 würde daher eine Größe, wie die der genannten vorweltlichen Tierformen kompensieren und mit der halben Kraft könnten sie sich erheben, deren sie unter dem heutigen Luftdruck bedürfen. Da ihnen aber nachgewiesenermaßen die für die jetzigen Luftdruckverhältnisse ihrer Körpergröße entsprechende nötige Kraft abgehe — so ist der Sinn der Harlé'schen Schlußfolgerungen — dürfte der Luftdruck in jenen Zeiten um ein Beträchtliches größer gewesen sein, als jetzt.

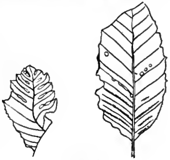
Die Autoren zweifeln selbst, ob sich die obigen Formeln auf die Objekte ausdehnen lassen, mit denen sie ihre Beweisführung auf stärkeren Atmosphärendruck zur Karbon- und Kreidezeit antreten. Man kann ja zunächst auch gar nicht wissen, ob etwa die Pteranodon nicht sonstige Gewichtserleichterungen besaßen. Ferner leuchtet nicht recht ein, wie man die Flügelspannweite so ohne weiteres dem Begriff Dimension gleichsetzen mag. Eben die größeren Flügel gleichen doch manches aus, was an Muskelkraft bei kleineren Flügeln zugesetzt werden müßte; der Pteranodonkörper war an sich, von der Flügelgröße abgesehen, ziemlich klein. Immerhin glaubte ich, auf diesen Versuch hinweisen zu sollen, weil er zeigt, mit welcherlei Betrachtungsweise biologischer Erscheinungen man unter Umständen sich Aufschlüsse über die physische Beschaffenheit der Vorwelterde wird holen können.

Unter günstigen Umständen sind wir auch in der Lage, den so schwer zu packenden klimatischen Faktor „Wind" festzuhalten, dessen Richtung uns eventuell aus dem Verlauf äolischer Kreuzschichtung in vorzeitlichen Dünenablagerungen kenntlich wird. Ein sehr schönes

1) Harlé, E., et Harlé, A., Le vol de grands reptiles et insectes disparus semble indiquer une pression atmosphérique élevée. Bull. Soc. géol. France, Tome XI, 4. sér., Paris 1911, S. 118—121.

Beispiel bietet eine neuere Darlegung[1]) von Zimmermann. Der periodische Sedimentationswechsel im Steinsalz, der eine häufige Zufuhr frischen Meerwassers in das Salzablagerungsbecken nötig macht, legt folgende Annahme nahe: „Nimmt man zwischen dem offenen Ozean und seinem abgeschnürten, zu einem eintrocknenden Binnensee und dadurch zu einer kontinentalen „Depression" gewordenen Busen eine supramarine leicht zerstörbare Barre, etwa eine Nehrung, mit einer flachen, vielleicht meist verschlossenen, aber durch Zerstörung immer leicht an derselben oder an einer anderen Stelle wieder herstellbaren Durchbruchspforte an, so kann nach meiner, wie ich glaube, zwanglosen Vorstellung ein ... Monsun diese Pforte, wenn er gerade auf sie zusteht, durch das sich aufstauende Wasser öffnen (und später sein Gegenmonsun sie — allerdings auf andere Weise — schließen), und kann das inzwischen mehr oder minder eingetrocknete Binnenmeer wieder auffüllen und durch Änderung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit in die Eintrocknungs- und Ausscheidungsbedingungen eben jene Regelmäßigkeit des Wechsels bringen, die zur „Jahresringbildung führt."

Solche sogenannten Jahresringe im älteren Steinsalz glaubte Walther seinerzeit[2]) als Beweis für Jahreszeitenwechsel deuten zu sollen, in dem Sinne, daß die Abwechselung zwischen je einem schwerer und leichter löslichen Salz einen Wechsel hervorruft. Diese Anschauung kann allerdings jetzt als wiederlegt gelten und ist mit Zimmermann auf die größere oder geringere Konzentration aus dem oben angegebenen Grunde möglicherweise zurückzuführen. Glücklicher in der Feststellung von Jahreszeiten war wohl de Geer mit dem S. 280 bei der Zeitberechnung schon angeführten Beispiel der jährlichen periodischen Abschmelzung des sich zurückziehenden Diluvialeises, das in seinen in's Meer gelangten Schlammabsätzen Jahresschichten bildete. Und ganz einwandfrei ist der Jahreszeitenwechsel an den Jahresringbildungen tertiärer Hölzer erwiesen.



Figur 72.

Solche wirklichen Jahresringbildungen lassen den wichtigen paläoastronomischen Schluß zu, daß die Ekliptikschiefe damals im wesentlichen die gleiche war, wie heute, da die Existenz der Jahreszeiten von dem Vorhandensein derselben unmittelbar abhängig ist, eine wesentlich größere Schiefe aber zu klimatischen Bedingungen führen müßte, bei denen die normale Existenz von Floren, wie sie uns das Tertiär in Vielzahl bietet, nicht möglich wäre.

Die Wirkung und damit das Auftreten des Frostes erhellt aus besonderen Frosterscheinungen, die man an fossilen Blättern nachweisen konnte und die v. Schlechtendal aus dem miocänen Senftenberger

1) Zimmermann, E., Der thüringische Plattendolomit und sein Vertreter im Staßfurter Zechsteinprofil, sowie eine Bemerkung zur Frage der Jahresringe. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 65, Monatsber., Berlin 1913, S. 357—372.

2) Walther, J., Geschichte des Lebens und der Erde, Leipzig 1908, S. 103.

Digitized by Google

Braunkohlenrevier beschrieb[1]). Die beifolgende Fig. 72 (nach ECKARDT) zeigt Frostwirkungen an Fagusblättern aus dem Miocän.

3. Schwierigkeiten in der Anwendung der beschriebenen Methoden.

So einfach und einleuchtend diese Methoden zur Bestimmung früherer klimatischer Zustände auch zu sein scheinen, so ist doch, wie wir soeben schon bei dem angeblichen Nachweis von Jahreszeiten aus den norddeutschen Salzlagern gesehen haben, große Vorsicht bei ihrer Anwendung geboten. Allerdings werden uns die Zeugen rein physikalisch-chemischer Vorgänge unter früheren klimatischen Bedingungen nicht leicht im Stiche lassen; Eisablagerungen etwa werden sich unverändert immer als solche in gleicher Form wie heutzutage gebildet haben, die Verwitterung in Wüsten wird immer den gleichen Charakter den Endprodukten aufgeprägt haben und Kalkbildung im Meere durch Organismen wird stets an die gleichen Temperaturbedingungen geknüpft gewesen sein, wie sie MURRAY für die Jetztwelt angab.

Aber z. B. schon bei der Anwendung dieses soeben dargelegten Argumentes auf die Ermittelung des Klimas ist zu berücksichtigen, daß dicke, starke Konchylienschalen auch mit dem Leben in der Brandungszone in Zusammenhang stehen können, diese Erscheinung also unter Umständen unabhängig von der Wärme, rein infolge des bewegten Wassers, als Schutzanpassung gegen das Zerschlagenwerden auftreten kann. So wäre es immer noch möglich, bei Betrachtung etwa des Jurakorallenriffes von Kelheim, oder Neuburg an der Donau, oder von Stramberg in Zweifel zu kommen, ob der Habitus der außerordentlich großen dickschaligen Astarten, Trichiten, Terebrateln, Rhynchonellen, Pleurotomarien etc. nicht auf Rechnung der Brandung statt auf die des tropischen Wassers zu setzen ist. Man wird sich für letzteres entscheiden, wenn man annimmt, daß Korallenriffbildung ruhiges klares Wasser voraussetzt und wenn man beobachtet, wie fein ringsum die Sedimente sind (Lithographenschiefer), bei denen von Brandungssedimentation auch nicht das Geringste wahrzunehmen ist.

Der üppige und kalkreiche Charakter jener Korallenriffauna des oberen Jura ist auch in der Tat etwas ganz anderes, als etwa die Derbschaligkeit und Größe der Mollusken in der ausgesprochenen Strand- und Brandungsfazies des unterstliassischen Hettangien in Lothringen, wo genau dieselben Formen auftreten, wie in anderen gleichalterigen, aber in etwas weniger bewegtem Wasser abgelagerten Liasfazies. In der genannten Korallenriffazies ist eine Üppigkeit von noch ganz anderer Art vorhanden, die den unbefangeneren Beobachter unmittelbar an unsere tropische Molluskenwelt erinnert. Gelegentlich mag beides — tropische Wärme und Bewegtwasser zusammengewirkt haben, wie an den Rudistenriffen der ostalpinen Gosauformation in der oberen Kreidezeit.

Auch eine unterschiedliche Verbreitung der Tier- und Pflanzenformen muß meist das Resultat klimatischer Unterschiede gewesen sein, wobei die Differenziertheit von Pflanzen derselben klimatischen Zonen,

1) SCHLECHTENDAL, O. v., Beiträge zur Kenntnis der Braunkohlenflora von Zschipkau und Senftenberg. Zeitschr. f. Naturwiss., Bd. 69, Halle 1896, S. 193, Taf. III, IV.

jedoch aus verschiedenen Höhenlagen zu berücksichtigen ist. Aber sicherlich nicht gleich geblieben ist die Angepaßtheit der Gattungen an bestimmte Wärme-, Licht- und chemische Verhältnisse des Wassers und der Atmosphäre. Viele Formen, die früher am Tageslicht und in wärmerem Wasser lebten, haben sich in die dunkle kühle, ja kalte Tiefsee zurückgezogen, andere Gattungen mit ehemals eurythermen Arten haben jetzt nur noch stenotherme Vertreter. So lebt das Muschelgenus Astarte jetzt durchschnittlich in kälterem Wasser, ebenso wie das Brachiopodengeschlecht Rhynchonella, die im Mesozoikum in den warmen korallenbesetzten Jurameeren hausten; allbekannt ist das Beispiel des gleichfalls in den Jurameeren häufigen Pentacrinus, einer Seelilie, die man heute aus abyssischen Tiefen holt, allbekannt das Beispiel, des heute tropischen oder subtropischen Rhinozeros und Elefanten, die sich am Rande des Diluvialeises tummelten, eine Erscheinung, die wir uns nicht erklären könnten, wenn uns nicht glückliche Umstände die Leichen solcher Tiere im gefrorenen sibirischen Eisboden überliefert und uns belehrt hätten, daß die Arten durch ein wolliges Haarkleid an die diluviale Witterung vorzüglich angepaßt waren. Der äußere Habitus, der ja soviel für die Widerstandsfähigkeit der Tiere gegen ungünstige klimatische Verhältnisse bedeutet, ist uns aber so gut wie nie fossil überliefert und gerade aus ihm ließen sich zuverlässigere Schlüsse ziehen, als aus den Skeletten, an denen die klimatischen Anpassungen spurlos vorübergehen.

Weit weniger anpassungsfähig als die Tiere sind die an ihren Standort gebundenen Pflanzen, und sie waren daher auch stets das Material, auf welches man sich, besonders zur Bestimmung der klimatischen Verhältnisse der Tertiärzeit, stützte. Indessen macht Eckardt[1]) darauf aufmerksam, daß auch bei ihnen einige Vorsicht geboten ist. Denn durch die Aufnahme von Farbstoffen in verhältnismäßig geringer Menge schon sind Pflanzen imstande, die Lichtstrahlen in erhöhtem Maße zu absorbieren und in Wärme umzuwandeln, wodurch dieselbe Art in einem kühleren Klima auszuharren vermag. Er erinnert an das Schneeglöckchen, das im Besitz dieser Eigenschaft die Schneedecke zu durchbrechen vermag. Es wäre deshalb denkbar, daß auch für die an und für sich auf ein warmes Klima deutenden tertiären Pflanzen der Polarzone eine solche Anpassung bis zu einem gewissen Grade wenigstens in Betracht zu ziehen ist. An der fossilen Pflanze kämen derartige Anpassungserscheinungen natürlich gar nicht zum Ausdruck, denn es ändert sich dabei nicht die äußere Gestalt. Morphologisch identische Pflanzen können daher sehr wohl in ziemlich verschiedenen Durchschnittsklimaten gelebt haben.

Wenn wir im mitteleuropäischen Jura Korallenriffe finden, aufgebaut aus Typen, wie sie unsere jetztweltlichen tropischen Riffe schaffen, dann werden wir wohl mit Recht auf gleiche Lebensbedingungen, auf gleiche Klimazustände zur Jurazeit in Mitteleuropa schließen dürfen, wie sie heute in den Korallenriffgegenden des mittleren Pazifik und des Indischen Ozeans herrschen, zumal die Korallen gegen Temperaturwechsel äußerst empfindliche, streng stenotherme Tiere sind. Der Schluß wird also nicht leicht einem ernstlichen Einwand begegnen. Wenn wir ihn aber auf die Silur- und Devonkorallenriffe ebenfalls anwenden

1) Eckardt, W. R., Das Klimaproblem der geologischen Vergangenheit und historischen Gegenwart, Braunschweig 1909, S. 21—22.

Digitized by Google

wollten, wäre das ein ganz oberflächliches Verfahren, das Deecke jüngst mit Recht tadelte als antiquiert und aus der Zeit der ersten naiven paläoklimatologischen Versuche stammend[1]). Denn jene paläozoischen und die mesozoisch-rezenten Riffe sind zweierlei, insoferne sie von ganz heterogenen systematischen Anthozoengruppen aufgebaut wurden. Ein silurisches oder devonisches Korallenriff besteht u. a. aus einfach röhrenförmigen hydrozoenartigen Tabulaten, von denen heute noch kein Paläontologe weiß, ob sie „Korallen" gewesen sind; es besteht ferner aus Tetrakorallen, das sind Formen, die zwar ganz den äußeren Habitus der späteren und heutigen Hexakorallen besitzen, aber einen anderen inneren Aufbau, so daß man nicht wissen kann, ob sie derselben Lebensbedingungen bedurften, wie die jetzigen Riffbildner. Man muß, um die paläozoischen Korallenriffe für ein warmes Klima in Anspruch nehmen zu können, einen Umweg einschlagen, nämlich sich des vorhin besprochenen Argumentes bedienen, daß stark entwickelte Kalkbildung bei Marintieren ein warmes Wasser voraussetzt; und in diesem Sinne allein darf man die paläozoischen Riffe in einem warmen Klima entstanden sein lassen.

Wie man sieht, sind die Methoden, mit denen wir das Klima der Vorzeit erforschen können, jeweils nur mit einer gewissen Vorsicht anzuwenden, und im allgemeinen dürfte hinsichtlich der auf die Biologie gegründeten Schlußfolgerungen der Satz gelten, daß sie um so unsicherer werden, je weiter wir uns von der Jetztzeit entfernen, weil allmählich an Stelle der gleichen Arten andere Arten treten und schließlich auch andere Gattungen erscheinen. Rückschlüsse von einer Art auf die andere sind schon zuweilen sehr gewagt[2]), denn die Nächstverwandten leben vielfach schon unter ganz verschiedenen Bedingungen. Man braucht nur an die in Italien gedeihende hochwüchsige Zypresse zu denken und an unsere niedere, die dem rauhesten Klima trotzt und den langen kalten Winter gut überdauert, während jene bei uns nicht fortkommt.

Indessen darf man angesichts solcher Möglichkeiten und Tatsachen doch nicht vergessen, daß unsere auf biologische und tiergeographische Momente gegründeten paläoklimatologischen Schlußfolgerungen nicht aus Einzelvorkommen gezogen werden, sondern daß tunlichst der Charakter und die Art der Verteilung ganzer Floren und Faunen berücksichtigt werden. Wenn wir im Alttertiär der Nordregionen ganze Floren antreffen mit einem Habitus, den wir heute in sehr warmen Regionen sehen, dann ist die wissenschaftliche Wahrscheinlichkeit, mit der wir daraus auf ein entsprechend warmes Tertiärklima dort oben schließen, doch größer, als die der Eckardt'schen Annahme; denn es wäre gar nicht einzusehen, warum sich tropische oder subtropische Pflanzen in einem kühlen Polarklima eingenistet haben sollten, nachdem schon Typen genug existierten, denen ein kühles Klima von vorneherein gemäßer war und an das sie sich nicht erst durch Farbstoff-

1) Deecke, W., Fazziesstudien über europäische Sedimente. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. B., Bd. XX, 1913, S. 2—3.

2) D. Geyer hat durch eine Untersuchung diluvialer Landschnecken z. B. festgestellt, daß fossile Mollusken, die zur Ermittelung des Klimas benutzt werden, nicht nur auf ihre Artzugehörigkeit, sondern, wenn sie zu einer variablen Spezies gehören, auch auf ihre Rassenzugehörigkeit hin erst zu prüfen seien. Arten einer Rasse können durch äußere Einwirkung differierende Gehäuse haben. (Über einige Schnecken aus dem Diluvium und ihre Bedeutung für die Ermittelung des Klimas. Jahresber. Oberrhein. Geol. Ver., N. F., Bd. III, S. 89—112.)

aufnahme anzupassen brauchten. Außerdem wäre es ja für jene angeblich in das kühlere Klima eingewanderten Tropenpflanzen mit der Produktion von Farbstoff noch nicht getan gewesen: sie hätten auch die Respirationsverhältnisse, die Säftezirkulation abändern und damit anatomische Eigenschaften ändern bezw. neu erwerben müssen; davon erzählen uns aber die fossilen Überreste nichts.

Ist es heute noch nicht möglich, mit den angegebenen Hilfsmitteln zu einer auch nur einigermaßen befriedigenden Vorstellung der allgemeinsten klimatischen Zustände in den früheren Erdzeitaltern zu gelangen und darf man einerseits mit der Anwendung der paläoklimatischen Forschungsmethoden gewiß nicht zu schnell vorgehen, so darf man andrerseits aber auch sich ihren Gebrauch nicht durch allzugroßen Skeptizismus unmöglich machen, sonst versperren wir nur den einzig gangbaren Weg, den wir bis jetzt haben und den wir daher unter allen Umständen benützen müssen.

Gelegentlich einer Diskussion auf dem Geologenkongreß in Mexiko 1910 vertrat Rothpletz die Anschauung, daß uns die Marintiere nicht wohl Aufschlüsse über das vorweltliche Klima geben könnten. Diener und Frech widersprachen dem auf's entschiedenste und suchten den Beweis zu führen von der großen Bedeutung fossiler Marinfaunen für die Klärung dieses Problems.

Es ist zweifellos richtig, daß Marinfaunen, besonders die des tieferen Wassers, klimatischen Veränderungen und raschem Temperaturwechsel weit weniger ausgesetzt sind als die Tiere und Pflanzen des Landes, mithin auch umgekehrt im fossilen Zustande weniger deutlich klimatische Zustände verraten werden als diese. Dennoch regelt sich auch ihre Verteilung ganz entschieden nach den durchschnittlichen Temperaturen, wie ja die Faunen der Jetztwelt zeigen. Finden wir daher in den einzelnen Zeitaltern deutlich ausgeprägte marine Faunenbezirke, dann wird uns das erst recht ein Hinweis auf klimatische Differenzierung sein können. Die Verteilung der Marintiere ist nun allerdings auch quer zu den Klimagürteln durch kalte oder warme Meeresströmungen geregelt, und insofern wird man nicht ohne weiteres nach der Verteilung bestimmter Faunenelemente den Verlauf von Klimagürteln unmittelbar bezeichnen können, ohne jeweils die Möglichkeitn von Strömungsbahnen gleichzeitig mit zu erwägen.

Der Nachweis klimatischer Differenzierung wurde zuerst von Neumayr für die Jurazeit versucht, und das Mittel, dessen er sich bediente, war die Gleichartigkeit bezw. Verschiedenartigkeit der Marinfaunen. Angesichts der heutigen Klimadifferenzen auf der Erde und angesichts der gleichzeitigen faunistischen Differenziertheit der marinen Bewohner gleicher Fazies in den verschiedenen Zonen der Erde ist dieses Mittel als durchaus zuverlässig zu bezeichnen. Dies erhellt u. a. daraus, daß die Tiefseefauna, welche unter allen Breiten in den gleichen klimatischen Bedingungen lebt, einheitlich ist, weitaus einheitlicher wenigstens, als die Ufer und Schelffaunen der Jetztzeit, auf welche die klimatischen Verhältnisse der Erdoberfläche stark einwirken. Wenn wir also in der Vorwelt wenig oder im Vergleich mit unseren jetzigen Verhältnissen so gut wie gar nicht differenzierte Faunen im Flachwasser antreffen, so ist der Schluß auf sehr gleichartige klimatische Bedingungen gerechtfertigt. Über den durchschnittlichen Wärmegrad braucht dabei gar nichts ausgesagt zu werden.

Nun ist aber auch der Begriff Klimadifferenzen bezw. Klimazonenbildung nicht fest umschrieben. Man muß sich gegenwärtig halten, daß unter allen Umständen und zu jeder Zeit solare Klimazonen auf der Erde wenigstens potentia bestanden haben, denn die Erde war zu allen Zeiten eine Kugel, umkreiste zu allen Zeiten in nicht allzugroßer Nähe die Sonne, empfing deren Strahlen also parallel; sie trafen am jeweiligen Äquator senkrecht, an den Polen tangential die Erdoberfläche, und die notwendige Folge war eine wesentlich geringere Erwärmung dieser gegenüber jenem; die Erde als Kugel mußte von vorneberein solar bedingte Klimazonen haben, die allerdings infolge bestimmter Niederschlagsverhältnisse, Wind- und Meeresströmungen, sowie eigenartiger Verteilung von Wasser und Land ihre Unterschiede bis zu einem hohen Grade von Gleichartigkeit gegenseitig kompensieren konnten.

Würde die endgültige Gestaltung des Klimas lediglich von der Sonnenbestrahlung abhängen, so wäre die Frage nach den vorweltlichen Klimazonen sehr einfach deduktiv aus obiger Überlegung gelöst: es müßten dann eben immer Zonen bestanden haben, deren Gegensätzlichkeit umso schroffer blieb, je senkrechter die Erdachse zur Bahn stand. Denken wir uns, daß die in ihrer Lage sich parallel bleibende Erdachse zu irgend einer Zeit einmal zu der Erdbahnebene nicht senkrecht und geneigt, sondern parallel gestanden habe, was jedoch in Wirklichkeit kaum vorkommen könnte, dann würden zwar nicht gleichzeitig, wohl aber im Verlauf eines Jahres alle Regionen der Erde gleichviel Wärme und Licht bekommen haben, aber dafür hätten auch alle Regionen — gleichviel ob polare oder äquatoriale — ihre jährliche „Polarnacht“ und ihre jährliche „Tropenhitze“. Diese denkbar schroffsten klimatischen Gegensätze würden aber eine gedeihliche Entwicklung von Tieren und Pflanzen ganz unmöglich machen.

Die relative Ausgeglichenheit der klimatischen Zustände, die wir aus der Faunenverteilung im älteren Mesozoikum und im Jura beispielsweise folgern müssen, ist also weder aus der Intensität der Sonnenbestrahlung, noch aus der Stellung der Erdachse allein zu erklären; es müssen terrestre Faktoren sein, die hier die primäre solare Zonenbildung modifiziert haben. Es kann sich für solche Zeiten daher nicht um den Nachweis eines im absoluten, sondern nur im relativen Sinne ausgeglichenen Klimas handeln, und es ist auch bei gleichartigen — wenn auch nicht spezifisch identischen — Faunen eines Zeitalters sehr wohl möglich, ja sehr wahrscheinlich, daß die solaren Klimazonen durch den über sie geworfenen ausgleichenden Mantel hindurchschimmerten, daß aber bei der höheren Durchschnittstemperatur der Erde die Faunenverteilung von klimatischen Unterschieden dann unbeeinflußt blieb.

Es ist ganz klar, daß klimatische Differenzen, wie sie heute auf der Erdoberfläche obwalten, vielfach unter jenes Minimum heruntergehen, welches noch eine Anpassung aller Formen an alle Regionen erlaubt. In der Wärme können alle leben, nicht aber in der Kälte; hierfür sind Anpassungen und Umwandlungen nötig. Es ist aber sehr wohl denkbar, daß klimatische Zonen bestehen könnten, bei denen nirgends die Temperatur unter dieses eben noch zum allgemeinen Faunenausgleich nötige Minimum heruntersinkt. Dann könnten oberhalb desselben bis hinauf zu einem ebenfalls erträglichen Maximum Klimagürtel bestehen, ohne daß deshalb die Faunen klimatisch sehr deutlich differenziert zu sein bräuchten. Einen solchen Fall scheinen

uns Trias und Jura zu bieten; deren Marinfaunen sind keineswegs allen Arten und der Gattungszahl nach gleichartig, aber doch immerhin auf der ganzen Erde mit einem so identen Habitus vertreten, daß das Klima ganz zweifellos ausgeglichener als heute gewesen sein, aber auch Zonen gehabt haben muß.

Ein Fall, der zeigt, wie schwer es ist, klimatische Zustände der Vorwelt genau in ihrem Wesen zu erfassen, bietet der Begriff „Wüste". Geologisch gesprochen ist eine Wüste jedes Land, das des Pflanzenwuchses entbehrt und, wenn auch nicht absolut, so doch immerhin so wasserarm ist, daß die Abtragung und Schuttanhäufung weniger durch die Gewalt des fließenden Wassers als durch Insolation und Wind bewirkt wird. Wenn nun eine Gegend des paläo- oder mesozoischen Zeitalters nachweislich ohne Pflanzenwuchs gewesen ist, wenn wir nur die Wirkungen des Windes und vereinzelt nur fluviatile Erosion und fluviatilen Transport erkennen, wie das sicher für viele Teile der devonischen Old red-, der permischen Rotliegend- und der untertriassischen Buntsandsteinserie anzunehmen ist, dann sprechen wir solchen Gebieten „Wüstencharakter" zu, bedenken aber nicht, daß es bei der heutigen vorgeschrittenen Anpassungsfähigkeit der Pflanzenwelt vielleicht unter gleichen klimatischen Bedingungen an den betreffenden Stellen gar keine „Wüste" gegeben hätte, sondern ein mit Vegetation bestandenes, wenn auch nur steppenartiges oder heideartiges Land, und daß der Wüstencharakter jener alten Gegenden vielleicht auch daher rühren könnte, daß es im Paläo- und Mesozoikum noch keine Pflanzen mit so vollkommener Anpassung an trockenere Landklimata gab. Der Begriff Wüste ist also in diesem Sinne durchaus relativ. Es ist dies wieder ein Beispiel dafür, daß in rein geophysikalische Fragen sogar biologisch-deszendenztheoretische Fragen entscheidend eingreifen können.

Rückschlüsse, die man aus der Entstehung spezieller chemischer Stoffe auf die Temperatur zur Zeit ihrer Bildung macht, können gleichfalls irreführen, wenn man die Genesis der betreffenden Stoffe nicht genau kennt. So kommen in den permischen Salzlagern Norddeutschlands gewisse Salzarten vor, deren Entstehung eine ganz außerordentlich hohe Temperatur erfordert (Langbeinit 37°, Loeweit 43°, Vanthoffit 46°, Hartsalz 72°)[1]), woraus man schon auf eine ungeheuere Hitze in der norddeutschen Permwüste geschlossen hat. Es ist aber zu beachten, daß derartige Verbindungen möglicherweise, ja in Anbetracht der allzu hohen Temperaturen wohl sicher auf diagenetische Prozesse zurückzuführen sein dürften[2]), welche einsetzten nach der späteren Überdeckung der permischen Salzlager durch mächtige Sedimentmassen, wodurch jene in eine hochtemperierte geothermische Tiefenstufe gerückt wurden. Es entstanden dabei Umsetzungen, die vielleicht ihrerseits wieder Temperaturerhöhungen erzeugten, woraus sich ja vielleicht auch ein Teil der merkwürdigen Stauchungen in den Salzkörpern erklären läßt. Andrerseits haben Arrhenius und Lachmann neuerdings versucht[3]), den Niederschlag der Salze im deutschen

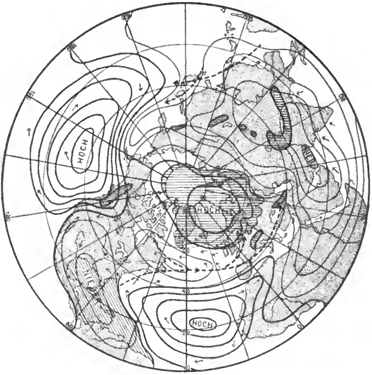
1) Pompeckj, J. F., Zur Frage hoher Temperaturen bei der Entstehung mancher Kalisalze. Zeitschr. f. prakt. Geol., Jahrg. XIX, Berlin 1911, S. 166—167.

2) Andrée, K., Die paläogeographische Bedeutung sedimentpetrographischer Studien. Peterm. Mitteil., Jahrg. 59, 1913, S. 122.

3) Arrhenius, S. und Lachmann, R., Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme. Geol. Rundschau, Bd. III, Leipzig 1912, S. 141.

Google

Zechsteinmeer an Temperaturen von höchstens 10° geknüpft sein zu lassen, also kaum mehr als die heutige Jahresisotherme dort beträgt (9°), und zwar wird das mit dem Auftreten der Kümmerfauna im deutschen Zechstein im Gegensatz zu den reicheren mediterranen marinen Permfaunen begründet, die „unter ungünstigen Lebensbedingungen existierte und offenbar dem Einfluß von kalten Meeresströmungen ausgesetzt war, die am Ostrande des nordatlantischen Kontinentes sich entlang bewegten und für die Dürre des Klimas verantwortlich

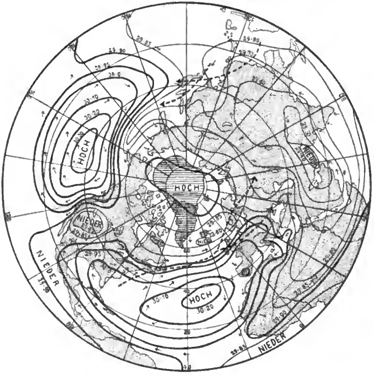


Figur 73 a.

gemacht werden können." Für kühle Temperatur spreche auch der Zugang zum deutschen Zechsteinmeer an der Dwina, wo eine Flora vom gleichen Habitus gedieh, wie in den Regionen der permischen Vereisung auf der Südhemisphäre. Wenn man bedenkt, daß aus ein und demselben Komplex von Erscheinungen zwei so schroff sich entgegenstehende Anschauungen über die klimatischen Zustände, unter denen sie sich entwickelt haben, gezogen werden, erkennt man so recht die Schwierigkeit der paläoklimatischen Probleme, und man wird es mit Andrée für das erste Erfordernis weiterer Forschung halten, „Übereinstimmung herzustellen zwischen den für gewisse Mineralvergesell-

schaftungen von Physikochemikern geforderten hohen Temperaturen und den diagenetischen Umwandlungen."

Außer den auf den vorstehenden Seiten entwickelten Hilfsmitteln zur Erkennung früherer Klimazustände, die wir als die induktive Methode bezeichnen können, gibt es noch ein Verfahren, die meteorologischen Zustände, vor allem den Verlauf der Windströmungen und die Temperaturverhältnisse festzustellen durch gewisse allgemeine Grundsätze über Verteilung der Zyklonen und Antizyklonen unter gegebenen



Figur 73 b.

Land- und Meeresverteilungen und Vereisungsflächen. Diese Methode ist mehr deduktiv. Bekannt ist ein in dieser Richtung unternommener Versuch von Kerner von Marilaun, der auf der Grundlage von Neumayr's Jura-Erdkarte die mittlere Temperatur der Erde für die Jurazeit zu berechnen versuchte[1]) und diese um 2° höher fand, als die heutige, während Semper den Verlauf der Meeresströme auf paläo-

1) Die Originalarbeit war mir nicht zugängig. Näheres bei W. R. Eckardt. Das Klimaproblem der geologischen Vergangenheit und historischen Gegenwart, Braunschweig 1909, S. 55/56. Dortselbst auch die Reproduktion der Karte.

Google

geographischer Grundlage für die Eocänzeit zu ermitteln suchte, daraus auf die Pollage schloß und auf dieser Gesamtbasis die Verteilung des Luftdruckes ableitete und kartographisch darstellte[1]). Da aber unsere Kenntnisse der Land- und Wasserverteilung erst derart in den Anfängen stecken, daß daraus kein irgendwie verlässiges Bild der Luftdruckverteilung in irgend einer vor dem Diluvium liegenden früheren Zeit gewonnen werden kann, so haben praktisch wohl nur Versuche für die Diluvialzeit Wert, wie der von Harmer, durch dessen Wiedergabe auch die Methode zu demonstrieren ist.

In der Jetztzeit[2]) sind die Kontinentalgebiete im Sommer mehr erhitzt, als das ozeanische Gebiet, also zyklonisch; im Winter kälter, also antizyklonisch. Die barometrische Lage der Ozeane ist also in den verschiedenen Jahreszeiten denen der benachbarten Länder entgegengesetzt. Zur Glazialzeit aber mußten die eisbedeckten Regionen zu allen Jahreszeiten im wesentlichen antizyklonisch sein und darum die Systeme niederen Luftdruckes über den unmittelbar südlich davon liegenden Land- und den anschließenden Ozeangebieten liegen. Sowohl die relative Lage der Luftdruckmaxima und -minima, wie die vorherrschende Windrichtung und dementsprechend auch die Verteilung der klimatischen Zonen mußten also wesentlich von denen der Jetztzeit abweichen: vom Ozean kommende Winde mit reichlichen Niederschlägen herrschten über jetzt trockenen Gegenden vor, und milde Winter dort, wo jetzt strenge herrschen. Geologisch-paläontologische Befunde bestätigen dies. So sind jetzt an der Ostküste von Norfolk und Suffolk angetriebene Muschelschalen sehr selten, weil sie durch Westwinde an die deutsche Küste getrieben werden; umgekehrt sind sie in dem oberen Crag Ostenglands außerordentlich häufig und demnach von Ostwinden herbeigeschafft worden. Denn wohl schon am Ende des Pliocän war die Eisbedeckung im Norden ausgedehnter als heute. Während ferner über Europas Eisfeldern eine antizyklonische Lage bestand, mußten zyklonische Strömungen weiter südlich als jetzt geweht und ozeanische, also feuchtigkeitsbeladene Winde über die Sahara gebracht haben — es war die dortige Pluvialzeit. Auch das häufige Vorkommen des Mammut längs der Küsten des Polarmeeres, wo jetzt infolge der exzessiven Kälte kein Baumwuchs denkbar ist, ist nur erklärlich, wenn auch die nordamerikanische Antizyklone die über der Beringstraße liegende Depression nordwärts verschob und mildere südöstliche Winde über Sibirien vom Pazifik herbrachte. Die beifolgende, aus Harmer entnommene Fig. 73a gibt die sommerliche Luftdruckverteilung wieder, unter der aus seiner Theorie sich ergebenden Annahme eines Alternierens der nordeuropäischen und der nordamerikanischen Vereisung, worüber in Abschnitt 7 dieses Kapitels Näheres noch gesagt wird. Die horizontal schraffierten Flächen bedeuten die Vereisungen, die schräge schraffierte bedeutet diluviales mittelamerikanisches Land. Die Pfeile bedeuten die Windströmungen. Die Karte Fig. 73b zeigt die heutigen sommerlichen Druckverhältnisse.

1) Semper, M., Das paläothermale Problem II. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 51, Berlin 1899, S. 185—206.

2) Harmer, F. W., The influence of the winds upon climate during the pleistocene epoch: a paleometeorological explanation of some geological problems. Quart. Journ. geol. Soc., Vol. 52, London 1901, S. 405—478.

Digitized by Google

4. Überblick über die klimatischen Zustände der einzelnen Erdzeitalter.

a) Präkambrium.

Wenn man sich daran erinnert, wie lange Zeit hindurch die Frage ernsthaft ventiliert wurde, ob die präkambrische Erdoberfläche und ihr Klima vielleicht noch unter dem Einfluß der durch eine dünne Erdkruste damals noch hindurchwirkenden inneren Erdwärme stand: wie sogar für das Paläozoikum noch vor 2—3 Jahrzehnten ein überall gleichmäßiger Faunencharakter und damit ein gleichmäßiges, undifferenziertes Klima angenommen wurde, und wie Sartorius von Waltershausen die Erdrinde erst im Mesozoikum dick genug sein ließ, um diese innere Einwirkung auf die Außenwelt hintanzuhalten, so mußte die Entdeckung der permokarbonen Eiszeit die Anschauungen in dieser Beziehung gewaltig klären und gar die Entdeckung beträchtlicher algonkischer Eisspuren zu dem Überraschendsten gehören, was man in klimatischer Hinsicht finden konnte. In den oberhuronischen Basalkonglomeraten hat Coleman[1]) an zwei 4 Meilen voneinander entfernten Punkten der Silberminenregion nördlich von Huron-See in Canada abpolierte und gekritzte Geschiebe aus in der Umgegend anstehendem archäischem und unteralgonkischem Gestein entdeckt, die in einem Tillit-artigen, grauwackig-sandigen Gestein eingebettet sind; das Liegende zeigt keine Gletscherschrammen. Ganz ähnliche, aber nicht gekritzte, vielleicht also fluviatil-glaziale Konglomerate liegen auf eine Erstreckung von über 700 Meilen in Ontario, vom Temiscaming-See im Osten bis zum Lake of the Woods im Westen, vom Huron-See im Süden bis zum Nordende des Nipigon-Sees auf eine Erstreckung von 250 Meilen, und erreichen eine Mächtigkeit von ca. 300 m. Andere Vorkommen von Konglomeraten in Canada, Minnesota, Michigan und Neufundland sind analog entwickelt und vielleicht als fluviatile Glazialgebilde anzusprechen. Nach Gregory soll auch auf Spitzbergen unter dem Kambrium „a very coarse boulder bed" das Kambrium unterlagern, und diese Konglomerate sollen glazialen Ursprungs sein[2]). Wenn alles das, was als Zeugnis für algonkisches Eis angesprochen wird, wirklich direkt oder indirekt von ihm herrührt, woran größtenteils kaum mehr zu zweifeln ist — auch an der Lenamündung sollen Glazialablagerungen präkambrischen Alters gefunden sein — dann hätten wir im Algonkium eine große periarktische Eiszone[3]).

Jedenfalls kann das amerikanische huronische Glazialphänomen nunmehr als allseitig anerkannt gelten, und Schuchert will es sogar noch in früh- und spätalgonkische Vorkommen gliedern[4]), so daß wir

1) Coleman, A. P., The lower Huronian Ice age. Journ. of Geology, Vol. XXIII. Chicago 1908, S. 49—158.

— A lower huronian Ice age. Americ. Journ. Science, Vol. XXIII, 4. ser., New Haven 1907, S. 187—192.

Ferner unter demselben Titel in: Compt. rend. XI. Congr. geol. intern. 1910, Fasc. II, Stockholm 1912, S. 1069—1072 (1 Tafel).

2) Garwood, E. J. and Gregory, J. W., On the glacial geology of Spitzbergen. Quart. Journ. geol. Soc. London, Vol. 54, 1898, S. 216.

3) Gregory, J. W., Climatic variations, their extent and causes, a. a. O. S. 407—426.

4) Schuchert, Ch., Climates of geologic time. Carnegie Inst. Washington, Publication No. 192, 1914, S. 272ff.

Digitized by Google

mehrere Vereisungen sogar hätten. Über ein eventuelles indisches präkambrisches Glazialvorkommen siehe S. 403.

Daß die algonkischen Landoberflächen stark gegliedert waren, ist die übereinstimmende Ansicht aller Forscher, die sich mit der Paläogeographie jener Zeit beschäftigt haben. Daß Faltengebirge existiert haben, ist schon betont worden, und daß infolge davon Eisbildungen auch in eventuell nichtpolaren Gegenden vor sich gehen konnten, ist an und für sich wahrscheinlich. Zugleich scheint aber auch das Klima im ganzen kühl und niederschlagsreich gewesen zu sein. In Verbindung mit der Existenz von Faltengebirgen sind, wie noch zu zeigen sein wird, die Niederschläge eine zu ausgedehnter Eisbildung genügende Ursache, wenn dabei die Schneegrenze tief genug liegt. Daß ein kühleres Klima als heute herrschte, will Haug aus der geringen Entwicklung des Kalkes in den algonkischen Sedimenten ableiten, da ja die intensive Kalkbildung an sehr warmes Klima gebunden ist (S. 380/81). „L'intensité des plissement sarchéens et l'accumulation énorme des formations détritiques à l'Algonkien rendent très plausible l' existence des reliefs qui ont dû considérablement faciliter l'etablissement de grandes calottes glaciaires; mais la présence de glaciers implique de plus, pour le début de l'epoque algonkienne, un climat plus rigoureux que celui de l'époque actuelle. La rareté des formations calcaires dans les séries algonkiennes de tous les pays est parfaitement en accord avec cette conclusion[1]."

Die starken Niederschläge, welche man, wie gesagt, im Zusammenhang mit dem Glazialphänomen folgern muß, finden ihre Bestätigung in der zweifellos sehr intensiven Abtragung, welcher die algonkischen Land- bezw. Gebirgsmassen ausgesetzt gewesen sind. Die Abwesenheit von Landpflanzen, die den Ländern ein wüstenartiges Aussehen gegeben haben muß, unterstützte die rasche Abtragung. Selbst Walther, der in der Rotfärbung der algonkischen Sandsteine Schottlands Wüstenbildungen erblickt, gibt zu, daß heftige Regengüsse, die das detritogene Material zusammenschwemmten und vorübergehend Seen bildeten, in diesen „Urwüsten" aufgetreten sind[2]. „Nordschottland war in algonkischer Zeit ein gebirgiges Festland, dessen steil aufragende Kämme und Felsenzacken durch keine Vegetation geschützt, dem zerstörenden Einfluß der atmosphärischen Kräfte rasch unterlagen. Große Schuttkegel und gewaltige Bergstürze bewegten sich an steilen Böschungen nach den Tälern hinab. Regengüsse breiteten sie in den Senken aus, bildeten vergängliche Trockenseen, an deren Boden geschichtete Tone abgelagert wurden, während der Sturm feine und grobe Sande zu vergänglichen Sandhügeln oder wandernden Dünen aufhäufte. Der wüstenartige Charakter des Landes ..., der häufiger von starken Regenschauern und Stürmen" unterbrochen wurde, „läßt sich mit den klimatischen Erscheinungen in den heutigen subtropischen Wüsten nicht ohne weiteres vergleichen. Deshalb möchte ich von Urwüsten sprechen, welche vielleicht die Temperaturkontraste der heutigen Wüsten mit den Regengüssen des Tropenlandes und den eisigen Stürmen des heutigen Polargebietes verbanden[3]. Ganz den-

1) Haug, E., Traité, S. 584/585. Vgl. auch Daly, The limeless ocean of precambrian time. Americ. Journ. Sci., Vol. XXIII, 4. Ser., New Haven 1907, S. 93—115.

2) Walther, J., Geschichte der Erde und des Lebens, Leipzig 1908, S. 193.

3) Walther, J., Über algonkische Sedimente. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 61, Berlin 1909, S. 283—305.

selben Eindruck von dem Auftreten starker Niederschläge hat WALTHER durch das Studium des schwedischen algonkischen Sparagmites gewonnen. „Die Sparagmite sind Trümmergesteine, deren Struktur auf dieselben klimatischen und paläogeographischen Umstände hinweist, wie sie bei der Bildung der Torridonsandsteine herrschten. Intensive Zertrümmerung älterer Gebirgsmassen, kurze Wasserläufe, rasch wechselnde Transportkräfte, Ausfüllung weiter Senken mit unsortiertem oder nur wenig aufbereitetem Schutt, vorübergehende Wasserflächen, m. a. W. also: kontinentale Urwüsten."

Man wird, wie schon oben (S. 393) erwähnt, den Begriff Wüste für jene Zeiten nicht als ein vollkommenes Homologon zu unseren jetzigen Wüsten auffassen. SEMPER, der die wesentlichsten Angaben über die mutmaßlichen vorweltlichen Klimate zusammengestellt hat[1]), sagt in diesem Zusammenhange bei Besprechung des algonkischen Klimas: „Es wird nicht behauptet, daß diese präkambrische Wüste alle Züge des heutigen Wüstenklimas aufgewiesen hätte, vielmehr daß damals alles trockene Land unter jedem Klima wüstenartig beschaffen sein mußte, weil es noch keine Landpflanzen gab, Insolation und Wind daher ungehindert die Erscheinungen überall hervorbringen konnten, die gegenwärtig auf Wüstenstriche beschränkt sind."

Ich glaube, nach alledem ist es nicht zweifelhaft, daß ein ziemlich wechselndes, ja unfreundliches rauhes Klima mit starken Niederschlägen im Algonkium — allerdings ein recht weiter zeitlicher Begriff — geherrscht hat.

b) Kambrium.

Tiergeographisch[2]) bildet Nordeuropa mit Nordamerika eine einheitliche Faunenprovinz; Südfrankreich und Sardinien kann man noch dazu rechnen; doch wird von anderer Seite (HAUG) Differenzierung zwischen der Marinfauna Großbritanniens und Skandinaviens einerseits, der Mittelmeerregion andrerseits betont, während Böhmen zwischen beiden teilweise vermittele. Das in Böhmen häufige Genus Sao ist im Norden nicht vertreten; dafür tritt dort Microdiscus auf, der im Süden fehlt. Man muß natürlich zwischen biologischer, etwa mit der Tiefe der einzelnen Meeresregionen zusammenhängender Fazies und zwischen horizontaler tiergeographischer Differenzierung stets zu unterscheiden suchen. So ist innerhalb der nordatlantischen Faunenprovinz eine spezielle, auf Tiefenwasser deutende Fauna, die Protolenus-Fauna, entwickelt (Trilobiten mit großen Augenwülsten, kleine Brachiopoden, Foraminiferen). Das sibirische Kambrium bildet eine Tierprovinz mit dem skandinavischen, die offenbar über den Pol ging. China ist wieder andersartig und hat z. B. durch das Genus Doropyge gemeinsame Züge mit dem jenseitigen pazifischen Ufer. Für das Mittelkambrium der pazifischen Region sind die ältesten Asaphiden charakteristisch. Umgekehrt fehlt im Mittelkambrium des westlichen Nordamerika und China das für Europa und Ostamerika so überaus bezeichnende Genus Paradoxides — wie überhaupt Nordeuropa mit Ostamerika in engster tiergeographischer Beziehung steht.

1) SEMPER, M., Das Klimaproblem der Vorzeit. Geol. Rundschau, Bd. I, Leipzig 1910, S. 62.

2) Die faunistisch-tiergeographischen Daten für diesen und die folgenden Abschnitte vielfach nach HAUG's Zusammenfassungen im Traité de Géologie.

Olenus, das Leitfossil für das Oberkambrium der nordatlantischen Provinz, fehlt in Australien und Westamerika bis gegen die Appalachen herein. Dafür besitzen diese Regionen Dicellocephalus, der überall fehlt, wo Olenus auftritt. China, Australien und das westliche Nordamerika (Rocky Mountains-Becken) bis zu den Appalachen kann man vor allem für die unter- und mittelkambrische Zeit als pazifische Provinz ausscheiden, für die im unteren und mittleren Kambrium Ceratopyge charakteristisch ist, ferner im mittleren die Abwesenheit von Paradoxides und im oberen die Abwesenheit von Olenus und dafür die Anwesenheit von Dicellocephalus. Die iberische Halbinsel zeigt pazifische Anklänge. Eigentümliche Brachiopoden treten im indischen Pandschabgebiete auf.

Die Faunen weisen also, besonders im Unter- und Mittelkambrium, eine recht weitgehende Differenzierung auf.

Es fragt sich dabei: lassen sich diese faunistischen Verschiedenheiten im Sinne einer klimatischen Differenzierung verwerten oder herrschte in dieser Hinsicht Einheitlichkeit? Haug glaubt an letzteres und erklärt die pazifische und atlantische Verschiedenheit der Faunen aus einer trennenden Barriere in den Green Mountains, welche die zwei Provinzen bedingte und zur Erklärung der Eigentümlichkeiten genüge. Ein weiteres zugunsten der klimatischen Einförmigkeit sprechendes Argument soll nach Haug das Auftreten der eigenartigen Riffbildner, den Schwämmen oder Korallen verwandten Archäocyathiden sein, die dem Gesteinscharakter nach, in dem sie jeweils vorkommen, für einheitliche Lebensbedingungen unter allen Breiten, also auch für ein uniformes Klima sprächen. Nach dem von mir entworfenen beistehenden Kärtchen, Fig. 74, finden wir sie in der nordatlantischen Faunenprovinz in Labrador, New-York, Schottland, in Südeuropa; in der pazifischen Meeresprovinz in Nevada, Nordchina; ferner in Sibirien, am Altai und im Pandschab; schließlich auf der Südhemisphäre in Südaustralien, am Südpol in Südviktorialand[2]) und fraglich in Deutsch-Südwestafrika. Sie fehlen trotz Vorhandenseins kambrischer Ablagerungen in Südamerika, im ganzen westlichen Nordamerika nördlich von Nevada, auch in Alaska und auf den neusibirischen Inseln.

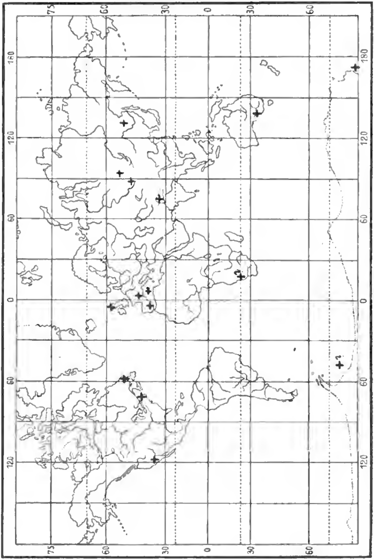
Wir können also zwei archäocyathidenfreie größere Gebiete im Kambrium unterscheiden, und wenn wir diese in ihrer gegenseitigen Lage zu einander auf dem Globus fixieren, dann liegen sie nahezu antipodal. Nehmen wir das Wrangell-Land oder einen Punkt südlich der Beringstraße als den einen Polpunkt, dann fällt der andere — auf der heutigen Erdoberfläche — in die Südpolarzone südwestlich von Nordamerika. Dann fiele die Hauptentwicklung der Archäocyathiden, besonders die üppige europäische in die äquatoriale Zone. Wenn nun die Lebensbedürfnisse der Archäocyathiden so beschaffen waren, daß sie zwar nicht in den damals kältesten Regionen, wohl aber oberhalb einer gewissen Minimaltemperatur sowohl in einem kühleren, wie auch

1) Eine neuere Monographie mit näheren Literaturangaben ist: Taylor, T. G., The Archaeocyathinae from the Cambrian of South Australia etc. Mem. Roy. Soc. South Australia, Vol. II, Part. 2. Adelaide 1910.

2) Debenham, F., Geologische Geschichte des Südviktorialandes. In: Kapitän Scott Letzte Fahrt, Bd. I, S. 160, 325; Bd. II, S. 338. Leipzig 1913. Auch im Weddelmeere ist ein Kalkstein mit Archäocyathinen gedredscht worden. Siehe: Nordenskjöld, O., Antarktis. Handb. d. Region. Geologie, Bd. VIII, 6. Abt., Heidelberg 1913, S. 18.

Digitized by Google

in einem wärmeren Klima, fortkommen konnten und in letzterem nur üppiger wucherten, dann läßt ihre Verbreitung tatsächlich sich als Andeutung von Klimagürteln auffassen.



Figur 74.

Es kommt noch etwas Weiteres hinzu: die Archäocyathidenvorkommen sind nicht alle ganz gleichalterig: in der nordatlantischen Provinz, mit Ausnahme des Durnesskalkes in Schottland, in Nevada, Süd-

europa und Sibirien sind sie schon unterkambrisch, in Australien mindestens hochunterkambrisch und in China nach WALCOTT mittelkambrisch[1]). Das hat vielleicht auch klimatische Bedeutung, wie wir gleich sehen werden.

Aus dem Kambrium werden verschiedene Vereisungen mitgeteilt. Schon seit über 20 Jahren kennt man im nördlichen Norwegen Glazialspuren[2]), deren Alter der Entdecker REUSCH jedoch seinerzeit noch nicht genau bestimmen konnte. STRAHAN hat später[3]) die Ablagerungen genau untersucht und beschrieben. Über echten präkambrischen krystallinen Gesteinen liegt die quarzitische, schieferige und konglomeratführende Gaisa-Formation, deren unterer Teil glaziale Trümmer in einem dunkeln Geschiebelehm führt, in dessen Liegendem Gletscherschrammen nachgewiesen sind. Die Formation ist altkambrisch. „Die unregelmäßig kuppige Oberfläche des vom Torridonsandstein überlagerten nordschottischen Gneisses, die weite Verbreitung ähnlicher Konglomerate in Spitzbergen, Grönland, Labrador und Sibirien, welche überall zwischen Paläozoikum und Urgebirge lagern, könnte vielleicht auf eine weitere Verbreitung dieser Eiszeit hindeuten[4]).“ Danach verliert die dritte, von FRECH in Betracht gezogene Möglichkeit, die Glazialspuren seien etwa ein Äquivalent der jungpaläozoischen Vereisung der Südhemisphäre, an Wahrscheinlichkeit.

Ein zweites, in seinem Alter wohl als gesichert zu betrachtendes Glazialvorkommen beschreibt WILLIS[5]) vom Yangtse in China, wo unter einem sicher kambrische Fossilien führenden Kalk in dessen unterem Teil Brachiopoden und wenige Trilobiten gefunden wurden. Die glazialen Ablagerungen selbst bestehen ebenfalls aus einem Geschiebelehm und -ton mit typischen geschrammten und polierten Gesteinen; darüber folgt ein aus dem Glazialmaterial aufgearbeitetes, eine marine Ingression andeutendes Konglomerat, woraus hervorzugehen scheint, daß diese Glazialperiode den Schluß der algonkischen Zeit bedeutet, weil überall in China das Kambrium transgressiv auf algonkischer Abrasionsfläche liegt.

Das dritte hierher gehörige glaziale Vorkommen ist aus Südaustralien beschrieben, über dessen Entdeckung NOETLING[6]) neuerdings einen genauen historischen Bericht gibt. Über basalen Konglomeraten folgen von Adelaide genau nordwärts fossilleere Phyllite, Kalke und Quarzite, darüber in Schiefer eingelagerte, teilweise dolomitische Kalke. Auf nun folgenden Quarziten sollen dann nach HOWCHIN[7]) glazialer Till und Sand mit den erratischen Geschieben liegen, darüber fossillere Schiefer. Die beiden obersten Stufen dieses Idealprofiles bestehen aus oolithischem und dolomitischem Kieselkalk mit Radiolarien,

1) WALCOTT, CH. D., Cambrian faunas of China. Proceed. U. S. Nation. Mus., Vol. XXX, Washington 1906, 2. 565, 567.

2) REUSCH, H., Det nordlige Norges geologi. Mid hidrag of T. DAHLL u. O. A. CORNELIUSSEN, Kristiania 1892, S. 26 ff.

3) STRAHAN, A., Onglacial Phenomena of paleozoic age in the Varanger Fjord. Quart. Journ. geol. Soc., Vol. 53, London 1897, S. 137—146 (2 Tafeln).

4) FRECH, F., Lethaea palaeozoica, Bd. II, Stuttgart 1902, S. 624.

5) WILLIS, B., Research in China, Vol. I. Topography and geology by E. BLACKWELDER and R. H. SARGENT. Washington 1907, S. 267 ff.

6) NOETLING, F., Über Glazialschichten angeblich kambrischen Alters in Südaustralien. Geol. u. Paläontol. Abh. von KOKEN, N. F. Bd. XI (Bd. XV). Jena 1913, S. 131—152.

7) HOWCHIN, W., Glazial beds of Cambrian Age in South Australia. Quart. Journ. geol. Soc., Vol. 64, London 1908, S. 234—259 (2 Tafeln). Ferner Zitate auf S. 10 bei NOETLING.

und zu oberst folgt endlich Schiefer, Quarzit und Kalkstein mit kambrischen Fossilien, darunter Archäocyathiden und Trilobiten, die nach meiner Auffassung nicht gerade auf rein unterkambrisches Alter deuten, wie NOETLING will, sondern auf höheres Unter-, wenn nicht tiefstes Mittelkambrium. Es könnte also, wenn das Profil richtig wäre, die Eisablagerung gut altkambrisch sein. Nun gibt aber NOETLING an, daß das Profil eine Kombination sei, und der geht jede sichere Beweiskraft ab. Urteilt man daher nach dem Gestein und nach der Lage im allgemeinen, so ist ein noch sehr altkambrisches Alter keineswegs unwahrscheinlich.

Fraglich ist ein viertes kambrisches Glazialvorkommen in Nordindien, bei Blaini, in der Saltrange[1]), das aber möglicherweise noch als präkambrisch anzusehen ist, wie SCHUCHERT meint[2]). Fraglich ist ferner das südlich von dem letzteren angegebene Kadapah-System auf der Indischen Halbinsel, in dessen oberem, möglicherweise noch als vorkambrisch zu bezeichnenden Teile nach VREDENBURG merkwürdige Gerölle von glazialer Lagerungsart auftreten[3]).

Wie bringen wir diese Vereisungen, wenn und soweit sie früh-unterkambrisch sind, mit der Archäocyathidenverbreitung im Zusammenhang? Denn wir müssen ja nach dem auf S. 380 dargelegten IRVINE-MURRAY'schen Gesetz annehmen, daß Kalkriffbildner nicht gerade in kühlen Regionen bauen konnten? In den Gegenden, wo in der Nähe Eisbildung sich befand, treten offenbar die Archäocyathiden auch am spätesten auf, keinesfalls aber gleichzeitig mit dem Eis. Im Varangerfjord lag altkambrisches Eis; die nächsthenachbarten Archäocyathiden in Schottland stellen sich erst mit dem Mittelkambrium ein. In China lag altkambrisches Eis; die von dort beschriebenen Formen sieht WALCOTT als mittelkambrisch an. In der Saltrange ist das Eis möglicherweise altkambrisch; REED vergleicht seinen dort gefundenen Archäocyathus außer mit der sardinischen hochkambrischen Art corhicula auch mit der chinesischen Elvirae[4]). Südafrika kommt nicht in Betracht, da dort sowohl das eventuelle Eisvorkommen, wie die Archäocyathiden zweifelhaft sind; es stört also unsere Beweisführung nicht.

Wenn das von HOWCHIN aus Australien angegebene Profil[5]) richtig ist,

9. dunkelrote Quarzite, Schiefer und Kalksteine mit Archäocyathina, Salterella, Microdiscus,
8. kieselige blaue oolithisch-körnige und dolomitische Kalke mit Radiolarien,
7. feinkörnige gebänderte Tone und Schiefer. Fossilleer,
6. Glacial-Till und Sandsteine mit Erraticum,

Liegendes: Quarzite und Schiefer (1—5),

so zeigt es uns die zunehmende Wärme sehr deutlich an. Unten die Glazialerscheinungen, dann fossilleere Tonschiefer, dann Kieselkalke mit Radiolarien und dann erst Trilobiten- und Archäocyathidenschichten. Nun haben wir ja schon darauf hingewiesen, daß, im Gegensatz zu

1) DAVID, T. W. E., Conditions of Climate etc., a. a. O. S. 437.

2) Siehe Zitat auf S. 397.

3) VREDENBURG, E. W., A summary of the geology of India, 1907, S. 20. (Teste SCHUCHERT, a. a. O. S. 271.)

4) TAYLOR, T. G., The Archaeocyathidae from the Cambrian of South Australia, a. a. O. S. 67. (Die Originalarbeit von COWPER REED konnte ich nicht auffinden, auch nirgends ein Referat.)

5) NOELTING, F., a. a. O. S. 10/11. Siehe auch unser Kapitel IX, S. 362.

Digitized by Google

der Kalkausscheidung, die Kieselausscheidungen eines kälteren Wassers bedürfen. So können wir uns HOWCHIN's Profil auf folgende Weise ausdeuten: Zuerst das Eis, welches das tiefste negative Extrem der großen Klimaschwankungskurve darstellt. In der folgenden Stufe war, nachdem sich das Eis ganz oder wenigstens an der untersuchten Stelle zurückgezogen hatte, das Meer immer noch so kühl, daß Organismen, oder wenigstens kalkschalige Organismen, die merkbare Fossilspuren hätten hinterlassen können, nicht vorhanden waren. Dann war die Temperatur soweit wieder gestiegen, daß wenigstens die ein kühleres Wasser vertragenden Kieselradiolarien gedeihen konnten, und schließlich bei weiterer Steigerung der Temperatur stellte sich die normale kambrische Fauna mit den Riffbildnern, bald etwas früher, bald etwas später, ein.

Ich glaube also nicht, daß sich mit den Archäocyathiden und ihrer anscheinend weltweiten Verbreitung kurzweg eine Uniformität des kambrischen Klimas beweisen läßt. Zunächst muß allerdings zugegeben werden, daß, wenn wir im folgenden von Klimazonen im Kambrium reden, diese nicht im Sinne der heutigen starken Gegensätze aufgefaßt werden dürfen. Aber von einer absoluten Uniformität kann schon deshalb keine Rede sein, weil die Erde als Kugel ja stets primär solare Klimazonen besitzen muß, die höchstens sekundär gegenseitig bis zu einem sehr hohen Grad, aber gewiß nicht absolut ausgeglichen werden konnten.

So ergibt sich folgende Vorstellung: Vom rauhen algonkischen Klima her übernahm das kambrische Zeitalter an seinem Beginn eine starke klimatische Differenziernng und ein auf der ganzen Erde wohl nicht eben warmes Klima. Eisbildungen und hornschalige Organismen in den Meeren, bei anfänglich völligem Fehlen typischer Kalkbildner, legen dies nahe. Allmählich eine Zunahme gleichmäßigeren wärmeren Klimas und demgemäß sukzessives Auftreten kalkiger Riffbildner. Relativer Ausgleich der klimatischen Gegensätze nach dem Oberkambrium hin. So gewinnen auch die eingangs beschriebenen Faunenprovinzen eine größere Bedeutung für die Klimafrage, nnd es ist vielleicht kein Zufall, daß auf der iberischen Halbinsel pazifische Faunenanklänge zu finden sind, während die antipodale Fauna der nordatlantischen Provinz in heutige Meeresregionen oder auf Landstriche ohne kambrische Marinablagerungen zu liegen käme. Natürlich sind Meeresfaunen niemals streng zonar angeordnet.

Wenn schon in algonkischer Zeit Eisentwicklung in Nordamerika nachzuweisen ist (vgl. S. 397) und in spätalgonkischer und in altkambrischer Zeit ebenso, dann muß — wenn wir an die klimatisch-tiergeographischen Differenzierungen des Pliocän und Quartär denken — eine tiergeographische Differenzierung der kambrischen Lebewelt sich als Nachwirkung der algonkischen bezw. eokambrischen klimatischen Extreme zeigen. Das Auftreten von Archäocyathiden, also kalkabsondernden Riffbildnern, läßt sich daher auffassen als den ersten entscheidenden Schritt der Lebewelt, sich wieder auf ein zurückkehrendes normaleres, ausgeglicheneres, im Ganzen durchschnittlich wärmeres Klima einzurichten, das im Silur folgte. Auch WILLIS meint, daß sich durch die große Ausdehnung der Meere im Oberkambrium das Klima wesentlich verbessert habe[1]).

1) WILLIS, B., Paleogeographic Maps of North America. Early and late Cambrian. „Outlines", S. 43.

c) Silur.

In der Verteilung der Silurtierwelt des Meeres nimmt man einige tiergeographische Unterschiede wahr, die im Untersilur etwas ausgesprochener sind, als im Obersilur. Abzusehen ist von den Gebieten mit der Graptolithenschieferentwicklung, die über die ganze Erde hin als Tiefenfazies zu betrachten ist und nicht mit den Flachwasserfaunengebieten unmittelbar verglichen werden kann, sondern nur in ihren einzelnen Vorkommen unter sich. Dabei zeigt sich eine universelle Verbreitung der Arten, was dafür spricht, daß in den tieferen Regionen sehr einheitliche Wärmeverhältnisse geherrscht haben müssen, daß dagegen unruhige Strömungen, die von starker Klimadifferenz herrühren müßten, nicht vorhanden waren. Natürlich darf man bei den Graptolithenschiefern nicht an Tiefsee analog der jetztweltlichen Bedeutung dieses Begriffes denken. Denn sonst wäre der vorstehende Satz nicht zu rechtfertigen, weil heute trotz starker Klimadifferenzen die Tiefsee auch einheitlich temperiert ist.

Im ganzen stehen sich in der Flachmeerfazies der Silurzeit anfänglich einige Provinzen ausgesprochener gegenüber; z. B. fehlt im Untersilur in Böhmen Aeglina, Chasmops, Nileus, dafür fehlen im Norden wieder böhmische Formen. Auch wenn die Gattungen übereinstimmen, sind sie vielfach durch vikariierende Arten vertreten. Im baltischen Ordovicium sind die Genera Megalaspis, Ptychoparia, Nileus entwickelt, sie fehlen im englischen Untersilur. Umgekehrt treten hier Placoparia, Dalmania, Brognartia, Illaenopsis auf, die in Skandinavien nicht vorhanden sind, oder doch später erst erscheinen.

Mit der nordeuropäischen Faunenentwicklung stimmt im Untersilur, was die Trilobiten betrifft, die nordamerikanische nicht durchweg überein; letztere hat manche eigene Züge durch die Anwesenheit von Bathyurus, Bathyuriscus, Bolbocephalus, Ptychaspis, Endymiona; nordeuropäische fehlen dafür, wie Chasmops, Aeglina, Euloma, Placoparia. Asien, und vielleicht Ostaustralien, gehören zum nordeuropäischen Faunentypus, der südeuropäische zum böhmischen. Auch unter den Cephalopoden finden sich Unterschiede: es gibt auf Amerika und dagegen auch auf Europa beschränkte Typen. So auch unter anderen Gruppen.

Zum Teil scheinen die untersilurischen Provinzunterschiede auch darauf zu beruhen, daß manche Formen eine gewisse Zeit zur Ausbreitung brauchten. Man muß eben, wenn man Provinzen nach dem unterschiedlichen Auftreten von Gattungen charakterisieren will, eigentlich auseinanderhalten, ob einzelne da und dort fehlen, weil sie nur ein beschränktes Entstehungsareal hatten und sich von da erst langsam auszubreiten begannen; oder ob die Unterschiede der Provinzen darauf beruhen, daß sich viele bezw. einzelne Gattungen etwa wegen Stenothermie oder sonstiger für sie unübersteigbarer Hindernisse auch in noch so langer Zeit nicht verbreiten konnten. Bei den untersilurischen Faunenprovinzen scheint zum Teil die langsame Verbreitung mehrerer Gattungen von wenigen Punkten aus bei den Unterschieden der „Provinzen" mitzusprechen.

Im Obersilur (Gothlandium) bezw. schon im höheren Untersilur erscheinen die Unterschiede wesentlich ausgeglichener, und zwar sowohl innerhalb der alten Welt, wie auch Nordamerika im Obersilur mehr und mehr mit Europa faunistisch verschmilzt.

Digitized by Google

Haug nimmt für das Silur ein ziemlich einheitliches Klima — sicher einheitlicher als im Kambrium — an. Dem wird kaum zu widersprechen sein. Angesichts der universellen Verbreitung der riffbildenden Korallen, deren Existenz gewiß ein nicht gerade kühles, sondern warmes Klima voraussetzt — es braucht nicht tropisch im Sinne der heutigen Riffkorallen gewesen zu sein — muß man zu diesem Schluß gelangen. Die angegebenen Provinzverschiedenheiten im Untersilur sind also gewißermaßen aus dem Kambrium übernommen. Aber daß die Klimadifferenzen in dem Maße, wie im Kambrium, nicht mehr fortbestanden, sondern sich kontinuierlich abgeschwächt hatten, dafür spricht ja der im Obersilur so viel vollkommenere Ausgleich der im Untersilur noch vorhandenen tiergeographischen Provinzen. Daß die Polarzone etwas kühler war, wie die südlicheren Gegenden, ist eine notwendige Voraussetzung, die man für alle Zeitalter, selbst für die mit ausgeglichenem Klima machen muß. So kann es nicht wundernehmen, wenn Gregory mitteilt, daß eine in's Britische Museum gelangte Suite von Silurkorallen aus Grinnell-Land durchweg verkümmerten Wuchs zeige[1]).

Eisspuren sind aus dem Silur allerdings nicht bekannt; die Faltengebirge aus früherer Zeit müssen abgetragen gewesen sein. Im Untersilur von Sibirien, im Obersilur von Nordamerika hatten sich Salzseen mit Gipsniederschlag gebildet. So scheint allerlei dafür zu sprechen, daß sich die Natur von der algonkischen und kambrischen Eiszeit erholt hatte und ein warmes Klima sich über die Erde verbreitete, das sich vom Untersilur ab besserte, womit die gegenüber dem Kambrium so außerordentlich in die Augen fallende Entwicklung von Kalkorganismen und Kalksedimenten jedenfalls in einem unmittelbaren Zusammenhange steht.

Es kann vielleicht als ein Anhaltspunkt für die allmähliche Zunahme wärmeren und niederschlagsärmeren Klimas im Silur angesehen werden, daß z. B. im östlichen Nordamerika erst im obersten Untersilur sich rote Lagen einstellen, die im übrigen Untersilur noch fehlen. Grabau meint[2]), daß die Anwesenheit solcher Bildungen den Eintritt von klimatischen Bedingungen anzeige, unter denen eine vollständige Oxydation des Eisens in den betreffenden sandigen Sedimenten möglich wurde, eine Erscheinung, die sich später immer mehr steigerte. Ferner sollen, wie erwähnt, die arktischen Silurkorallen etwas verkümmert sein gegenüber denen der übrigen Welt, was auf eine geringe Abkühlung der Polarregion hinweisen würde; doch ändert dies nichts an der Tatsache eines bis an den Pol hinauf durchaus milden Klimas, sonst hätten Korallen dort überhaupt nicht gedeihen können.

d) Devon.

Die geringe tiergeographische Differenzierung, wie wir sie im Obersilur verlassen haben, akzentuiert sich zuerst im Devon wieder etwas stärker. Haug vermutet, daß dies eine unmittelbare Folge der unterdrückten Meereskommunikationen sei, denn wir haben ja im Obersilur ein Rückfluten der Wasser von den Festlandsarealen in die

1) Gregory, J. W., Climatic variations, their extent and causes. Compt. rend. X. Congr. géol. intern. Mexico 1906, Fasc. I, Mexico 1907, S. 412.
2) Grabau, A. W., Early paleozoic delta deposits of North America. Bull. geol. Soc. America, Vol. XXIV, New York 1913, S. 411.

Geosynklinalzonen. Speziell den Faunenunterschied zwischen der europäischen und nordamerikanischen Region will Haug erklären durch die Unterbrechung der polaren Verbindung. Tatsächlich war ja auch die Kommunikation von Europa nach Nordamerika keine direkte, sondern ging über Nordafrika nach Mittelamerika hinüber. Sind also die Meeresverbindungen und nicht etwa klimatische Grenzen die Ursache dieser Provinzdifferenzierungen, so muß man erwarten, in Nordafrika eine Art von Mischfauna zwischen dem amerikanischen und dem europäischen Typus zu finden, was in der Tat der Fall ist, so daß der von Haug angenommene Gruud, es seien die beschränkteren Meeresverbindungen, welche die Ausbildung eines amerikanischen und eines europäischen Formenreiches begünstigten bezw. mitbedingten, viel Wahrscheinlichkeit für sich hat. Doch sind die Unterschiede überhaupt im ganzen gering. Nach den Ausführungen Frech's in der Lethaea ist jedenfalls alles in allem festzustellen, daß im Unterdevon die Faunen weniger versehmolzen sind, als im Mitteldevon.

Es scheint, daß für das amerikanische Devon Südamerika das Ausstrahlungszentrum war, denn dort sind eine größere Anzahl Formen schon im Unterdevon vorhanden, die in Nordamerika erst im Oberdevon erscheinen. Im Mitteldevon haben Südamerika, Nordamerika und Europa einige gemeinsame Formen. Die in Europa im Oberdevon so reichlich verbreiteten Clymenien sind in Nordamerika nur an einem Punkte im Staate New York in einer einzigen isolierten Art gefunden worden, ebenso in Nordafrika. In Europa hat man lange eine herzynisehe und eine rheinische Faunenprovinz unterscheiden wollen. Beides sind nur Faziesunterschiede, die erstere mehr kalkige Tiefenfazies, die letztere mehr neritische Litoralfazies; zudem haben sie überall dieselben Spezies. Wenn man recht Spezies heraustüftelt, kann man auch eine russisch-uralische von der europäischen Provinz noch unterscheiden.

Wie war das Klima nun gestaltet? Die zur Beurteilung zunächst in Betracht kommende Ablagerung ist der regional ziemlich verbreitete Old red Sandstone. Von der einen Seite als Wüstenbildung, von der anderen als fluviatil lakustre Ablagerung mit marinen Einbrüchen gekennzeichnet, dürfte wohl beides eine gewisse Richtigkeit haben.

Man muß annehmen, daß mit Beginn des Devon die Denudation an den kaledonischen Falten auf dem Nordkontinent mächtig eingesetzt hatte und das Material lieferte zu der Old red-Ablagerung. Im Gebirge sorgten wohl reichliche Niederschläge für die Entstehuug zahlreicher Rinnsale, die große Mengen Materiales wegführten und zermahlten, bis sie sich unten zu Flüssen vereinigten, die dann zuletzt als mehr oder minder breite Flußsysteme und Ströme meerwärts zogen, ihr Bett oft verlassend, bald stärker anschwellend sich über die Gegend in seeartigen Wasserflächen ausbreiteten, zum Teil stagnierten, dann wieder mehr und mehr abflutend, zum Teil austrockneten in langem, langem Wechselspiel. Hin und wieder machte das Meer den Versuch, in den breiten Flußniederungen in das flache Land hereinzudringen und einzelne seiner in brackischem Wasser lebensfähige Tiertypen mitzubringen. In Nordamerika von Neufundland bis New York, in Grönland, Spitzbergen, fast ganz England (mit Ausnahme des äußersten Süden), in Livland und Kurland, im südlichen Norwegen liegt dieses Old red-Gebiet. Schon im Silur, auch im Algonkium schon, macht sich diese Fazies im „alten roten Nordland"

wie es Walther nennt[1]), geltend, und nun im Devon greift sie auf andere bisher verschonte Gebiete über. Nordafrika (der untere nubische Sandstein), Südafrika, Brasilien zeigen uns — man kann sagen: die gleiche Fazies des Devon.

„Das Old red besteht vorwiegend aus mächtigen Schichten ziegelroter oder schokoladebrauner Sandsteine, die gelegentlich durch graue oder schwarze Zwischenschichten unterbrochen werden. Eckige oder gerundete Kiesel, Gerölle von Gneis und Granit, Scherben von Schiefer und Grauwacken häufen sich oftmals zu mächtigen Konglomeratbänken an, in denen uns bisweilen gewaltige Rollblöcke entgegentreten. Rote oder grünliche Mergel treten dazwischen auf und enthalten Konkretionen von unreinem Kalk. In den Ostseeprovinzen sind Abdrücke von Salzkrystallen und Einschaltungen von Salz und Gips weit verbreitet. Im nördlichen England und Irland erreicht das Old red eine Mächtigkeit von 3000 m, die in Schottland auf 5000 m steigt." Man merkt die Nähe der kaledonischen Züge.

Daß man keineswegs daran denken darf, daß etwa die Old red-Fazies durch irgendwelche trennende Barren von der marinen getrennt war, sondern daß vielmehr beide in einander übergingen, zeigt ein Profil „in Livland und Kurland. Es ist eine breite Zone roten Sandsteines etwa 100 m mächtig, mit der typischen Fischfauna des Old red. Dann folgen 70 m dünnschichtige Kalke und Dolomite, wechsellagernd mit Gips und Salzton. Einzelne Mergelschichten enthalten marine Brachiopoden (Spirifer Verneuili, Spirigera concentrica, Atrypa reticularis etc.), im Hangenden folgen wieder 20 m echten roten Sandsteines ohne jegliche Spur von marinen Resten. Es kann also zwischen diesen beiden Faziesgebieten nicht so sehr ein topographischer Gegensatz existiert haben als vielmehr eine leicht verschiebbare, rasch bewegliche Grenze, die spielend bald nach dem roten Sandsteine, bald nach dem Meeresschlamm schwankte und die durch ihr Hin- und Herschwanken immer wieder die beiden Faziesregionen von einander sonderte."

„Das nordische Devonland war sehr mannigfaltig gegliedert; zahlreiche Störungslinien gehen ja durch das liegende Grundgebirge hindurch; einige nach Nordosten streichende Höhenzüge sind in Schottland nachgewiesen. Oft lagern die Sandsteine an steilwandigen Kernen älterer Gebirge, oft erfüllen (die Ablagerungen) tiefe Senken, so daß man mehrere große Ablagerungsgebiete als die „Seen" von Orkadien, Kaledonien und Lorne unterscheiden konnte. Doch darf man sich darunter — wie schon angedeutet — nicht dauernde Wasserbecken vorstellen, sondern weite, von Bergen umzogene Senken, welche teils durch übertretende, ihr Bett verlegende Flußläufe oder durch die Sammelwässer der in den betreffenden Gegenden niedergehenden Regengüsse sich zu Seen sammelten, deren Umriß ebenso wechselte, wie ihre Tiefe, und die bald austrockneten, um sich bei den nächsten Regenzeiten oder Flußaustritten wieder zu füllen."

Walther hat an der rezenten Erdoberfläche nach Analogien gesucht für das Old red-Land und seine Zustände. Er sagt: „Wir werden an Australien erinnert, das jetzt noch von einem tiefen stürmischen, oft regenreichen Ozean umbrandet, doch in seinem Innern dauernd oder periodisch abflußlos ist. Mögen auch hohe Gebirgszüge über weite

1) Walther, J., Geschichte des Lebens und der Erde. Leipzig 1908, S. 250ff.

Ebenen ragen, mag der dort herniederrinnende Regen auch mächtige Flußrinnen füllen, die zu Zeiten den Verwitterungsschutt bis in's Meer tragen ... — es treten Zeiten verheerender Dürre ein, in denen die Flüsse versiegen, die Seen verdampfen und mit grausamer Gewalt ein reiches Tierleben vernichtet wird." Oder es erinnert ihn an die Terigebiete in Südindien, „wo die breite Küstenzone von wandernden Dünen karminroter Sande bedeckt wird, die, bis 60 m hoch, weithin das Land überschütten und von herrlichen dunkelblauen Seen unterbrochen werden. ... Hier bilden sich mächtige rote Sandsteine mit typischer Dünenschichtung neben dünnblätterigen roten Mergeln am Grunde der Binnenseen und nicht ferne davon entstehen marine Kalksteine und Sandsteine. Genau, wie diese Terisande von einer dünnen Haut roten Eisenoxydes überzogen sind, werden auch die Sandkörner des Old red durch zarte rote Hüllen gefärbt, und die Übereinstimmung beider Erscheinungen ist zu auffallend, als daß wir sie nicht auf dieselben klimatischen Ursachen zurückführen sollten. Genau dieselben roten Dünensande überdecken auch im Nefud von Arabien weite Wüstenstrecken." Es erinnert ihn auch schließlich an Verhältnisse, „die sich jetzt noch in Transkaspien beobachten lassen, wo aus dem Ufergebiete des Jaxartes die Wüste Kisilkum, aus dem Oxus die Karakum entsteht und mit ihren gewaltigen Sandmassen unter dem Einfluß östlicher Winde unaufhaltsam nach Westen drängt, Hügelländer, abgetragene Faltengebirge, Niederungen und Binnenseen überschreitet und sie unter einem Sandmeer von großer Mächtigkeit begräbt, während von den nahen Gebirgen durch gelegentliche Wolkenbrüche große Geröllzungen mit mächtigen Rollblöcken gebildet werden, die sich den Sanddecken einschalten."

Daß diese Vergleiche mit zum Teil trockenen bezw. austrocknenden, wüstenartigen, dann vorübergehend wieder wasserreichen Gegenden völlig zutrifft, zeigen uns auch gewisse, im Old red eingeschlossene Tiertypen. Wie in Australien in den austrocknenden Flußläufen und ihren Tümpeln ein merkwürdiger Fisch existiert, der, solange ihm Wasser zur Verfügung steht, darin lebt und mit Kiemen atmet, dann aber, wenn das Wasser vertrocknet, auch da weiterlebt und mit seiner zu einem Lungensack umgearbeiteten unpaaren Schwimmblase atmet, genau so existierte im Old red ein derartiger, nur ganz wenig verschiedener Fisch, der Ceratodus, der uns damit auf's deutlichste die biologischen Verhältnisse jener Zeit noch konstruieren läßt. Andere Formen von seltsamen altertümlichen fischartigen, gepanzerten Tieren, die auch in der Marinfazies des Devon existierten, sowie große Krebse, drangen auch in das Old red-Gebiet ein und erlauben uns, den wechselnden Zusammenhang mit marinen Lagunen und damit dem offenen Meere auch so zu beweisen, wie wir ihn oben durch das westrussische Profil rein petrographisch-stratigraphisch erweisen konnten. Ich glaube, man darf, abgesehen von allem Ausmalen in's einzelne, vom Old red soviel sagen, daß er auf klimatisch meteorologische Gegensätze weist, die sich rasch an ein und derselben Stelle jeweils entwickelten. Das ist aber ein Klima, das vielleicht auf eine etwas größere Ekliptikschiefe deutet.

Von Rogers wird das ganze sogenannte Cap-System[1]) für devonisch erklärt und aus dessen unterster Serie, den Table Mountains-

1) Rogers, A. W. and du Toit, A. L., An introduction to the geology of the Cape Colony. London usw. 1909, S. 133—158.

Schichten typische Glazialspuren beschrieben, geglättete und gekrizte Gerölle von Quarzen, Quarziten, Diabasen etc. in feinkörniger Matrix eingebettet, so daß an der glazialen Entstehung kein Zweifel sein kann. Und zwar muß man das Vorkommen für frühdevonisch halten. Denn wenn man das von ROGERS gegebene Profil betrachtet, so findet man, daß diese die Eisspuren enthaltende Table Mountains-Serie unter einer jüngeren, der Bokkeveld-Serie liegt und daß erst diese letztere devonische Marinfossilien enthält; und zwar sprechen diese eher für Mittel- als für Unterdevon. Es hat sich also, wie die relativ reiche Kalkorganismenfauna dort zeigt, das Klima auch an dieser Stelle vom Unter- zum Mitteldevon hin verbessert, aber immerhin blieb es dort noch kühler als in Europa, was daraus hervorgeht, daß Korallen und zwar Riffbildner fehlen; nur Zaphrentis, also eine Einzelkoralle, kommt vor.

Auch auf der Nordhemisphäre zeigt uns das Mitteldevon ein Wärmerwerden des Klimas an, und auch sonst auf der Welt schwinden die Gegensätze. Riffkorallen gewinnen an räumlicher Ausdehnung, Kalkbildungen treten häufiger auf, was sich im Oberdevon noch steigert, die klastischen Bildungen treten gegenüber dem Unterdevon zurück. Wenn man bedenkt, wie außerordentlich die Analogien der Mittel- und Oberdevonsedimente von west- und mitteleuropäischem Habitus und ihre Faunen mit südosteuropäischen, spanischen, kleinasiatischen, indischen, sibirischen, chinesischen und uralischen sind, wenn man auch in dem etwas Selbständigkeit verratenden Amerika die Identität der Sedimente und Faunen in Canada und den Vereinigten Staaten, und wenn man schließlich diese Ähnlichkeit, um nicht zu sagen „Identität", auch in Australien wieder antrifft, so muß man sagen, daß die wenigen übrigbleibenden Gegensätze so gering sind, daß sie kaum in's Gewicht fallen und daß sie jedenfalls nicht den Eindruck machen, als ob sie durch besondere klimatische Gegensätze noch bedingt seien.

e) Karbon.

Wegen der zum Teil großen Abwechselung der Faziesentwicklungen ist es etwas schwierig, im marinen Karbon zu unterscheiden, was auf Rechnung dieser zu setzen ist und was Ausdruck richtiger tiergeographischer Verschiedenheiten ist. Umso sicherer darf man für das Unterkarbon (Dinantien) von einer kosmopolitischen Einheitlichkeit des Faunenbildes sprechen, wenn man trotz allen Fazieswechsels vor allem Brachiopodengattungen und -arten weltweit verbreitet sieht. Nur die Ammonoiden zeigen sich tiergeographisch etwas differenziert; das ist zwar auch im Mittelkarbon (Moscovien) etwas der Fall, aber von wirklichen Provinzen wird man nicht gut reden können, zumal auch hier kosmopolitische Formen genug vorkommen. Etwas stärker akzentuieren sich die Unterschiede im Oberkarbon (Ouralien), aber immer noch unter gleichzeitigem Erhaltenbleiben kosmopolitischer Elemente.

Für die Beurteilung der Klimafrage von Wichtigkeit scheint zu sein, daß im Oberkarbon Indiens und Chinas zwei merkwürdige Brachiopodengattungen: Lyttonia und Richthofenia auftreten, die erst im Unterperm auch in Europa und Amerika erscheinen, und daß auch die Ammonoideen eine gewisse faunistische Differenzierung zeigen.

1) DAVID, T. W. E., Conditions of climate etc., a. a. O. S. 448—449.

Digitized by Google

In Australien zeigt das Oberkarbon zwar mehrere auf der Nordhemisphäre vorhandene Brachiopoden, aber sie sind vergesellschaftet mit einer großen Zahl eigenartiger und höchstens noch in der indischen Saltrange auftretender spezifischer Formen, worunter bei den Lamellibranchiaten Lyomyalina und Eurydesma sind.

Bemerkenswert ist noch, daß das Oberkarbon von Brasilien und Bolivien mit der Nordhemisphärenfauna, nicht mit der australischen übereinstimmt. Die Fusulinen scheinen an keine Provinzen, sondern nur an Fazies gebunden zu sein, aber wo sie auftraten, kann bei ihrer ausgiebigen Kalkproduktion nach den oben erwähnten Murray'schen Untersuchungen natürlich das Wasser nicht kühl gewesen sein.

Ausführlich hat Zeiller die Pflanzengeographie von Karbon und Perm geschildert. Nach ihm ist die Flora des Unter- und Mittelkarbon auf der ganzen Erde von einer bemerkenswerten Einförmigkeit. Europa Asien, Afrika, Amerika, Australien — alle haben sie dieselben Florenelemente geliefert. In der Appalachenregion Nordamerikas und an der atlantischen Küste hat man genau dieselben Formen gefunden, wie in Großbritannien und im französisch-belgischen Kohlenbecken. Westfälische Typen sind in Süd-Oran wiedergefunden und in der Sahara hat man Spuren von ihnen. Auch die in China den marinen mittelkarbonischen Schichten eingeschalteten Kohlenlager führen genau dieselben Pflanzen, wie die gleichalterigen in Europa.

Im Oberkarbon und Unterperm kann man noch auf sehr große Räume hin die universale europäische Karbonflora verfolgen. Europa, China, Nordamerika verhalten sich noch völlig gleich, und im Süden ist in den Kohlenlagern des Sambesi unsere oberkarbone Flora entdeckt. Aber in Australien, Indien, Südafrika trifft man im Oberkarbon plötzlich auf eine ganz neuartige Flora, deren wesentlichster Bestandteil die neuropteride Farngattung Glossopteris ist, wonach man die ganze Pflanzengesellschaft Glossopterisflora nennt. Also zwei deutlich geschiedene Pflanzenprovinzen.

Nach den bisher vorliegenden faunistischen und floristischen Haupterscheinungen der Karbonzeit darf man wohl folgern, daß während des ganzen Karbon mit Ausschluß des allerletzten Teiles ein gleichmäßiges und warmes, mindestens sehr mildes Klima über die ganze Erde hin herrschte. Dafür spricht neben dem Kosmopolitismus so vieler Formen, sowohl Marintiere, wie Pflanzen, auch deren Habitus: im Meer üppig entwickelte Kalkbildner, auf den Ländern oder an den Küsten üppige Wälder. Gerade an diese uns bei der Klimabestimmung zu halten, wird vor allem geboten sein, wegen der feiner geartetenReaktionsfähigkeit der Pflanzenwelt auf klimatische Änderungen, gegenüber den Marintieren.

Erst im Oberkarbon, wo auf der Südhemisphäre die Glossopterisflora auftaucht, macht sich ein schärferer pflanzengeographischer Gegensatz einzelner Weltregionen und zwar verhältnismäßig plötzlich geltend. Ob er auch einen klimatischen Unterschied beider Regionen bedeutet? Darüber läßt sich nur ein Urteil fällen, wenn man die Existenzbedingungen, den Ort, an dem sie lebten, genauer untersucht.

1) Zeiller, R., Les provinces botaniques de la fin des temps primaires. Revue generale d. Sciences, Vol. VIII, S. 5—11. Paris 1897. (Teste Haug, Traité, S. 822ff.)

Die außerordentliche Unruhe, in der sich der Boden während der ganzen Karbonzeit befand, brachte es mit sich, daß sich an den auf- und absteigenden, ja zuweilen geradezu oszillierenden Flachküsten weite Lagunen und Ästuare bildeten, in denen sich ein üppiges Pflanzenleben angesiedelt hatte, dessen Vertreter zum Teil sehr große und baumartige, äußerlich Schachtelhalmen, Bärlappen und Farnen ähnlichsehende Typen waren. Die ganze, unmittelbar an tropische Wärme und Feuchtigkeit erinnernde Vegetation verkohlte dort nach ihrem Absterben unter Wasser. Wir haben in manchen Steinkohlenlagern noch an Ort und Stelle aufrecht stehende Baumstümpfe, die uns beweisen, daß das Material zu den karbonischen Steinkohlen an Ort und Stelle entstanden ist, womit nicht geleugnet werden soll, daß es auch allochthone Kohlenlager aus zusammengeschwemmten Stämmen gibt. Aber sie sind wenig ausgedehnt und bilden Ausnahmen.

Es ist nun eine alte Streitfrage, ob dieser Verkohlungsprozeß in den Wasserwäldern der Steinkohlenzeit unter einem kühlen oder tropischen Klima vor sich gegangen sei; daß große Feuchtigkeit dazu gehörte, wird von niemand angezweifelt. Frech, Eckardt und Haug, um nur Wenige zu nennen, die sich mit der Frage beschäftigt haben, plädieren entschieden auf ein mindestens nicht tropisches, eher kühles Klima, angeblich weil die Vertorfung und Verkohlung der Pflanzen und Stämme in tropischer Wärme erfahrungsgemäß nicht vor sich gehen könne. Nachdem man in neuerer Zeit aber in Niederländisch-Indien unmittelbar unter dem Äquator richtige Waldmoore entdeckt hat, ist ein Hauptgrund gegen die von dem Habitus der Karbonpflanzen von jeher geforderte tropische Natur der Steinkohlenwälder hinfällig geworden. Potonié, wohl der kompetenteste Beurteiler der Biologie der Karbonpflanzen, stellt in seinem zusammenfassenden Werk[1]) über die Entstehung der Steinkohlen sechs Gesichtspunkte auf, nach denen die Organe und der Bau der Karbonpflanzen auf ein tropisch warmes Klima hinweisen und die Steinkohlenflora zugleich den Charakter einer Moorvegetation hat. Wir haben also für die Karbonzeit aus diesem Grunde dort, wo Steinkohlenwälder standen, ein sehr einheitliches und sehr warmes, aber auch niederschlagsreiches Klima anzunehmen. Im Süden aber begegnet uns am Ende des Karbon eine ungeheure Eisbedeckung, von einer Ausdehnung größer als die diluviale Eiskalotte auf der Nordhemisphäre. Davon im nächsten Abschnitt.

f) Perm.

Gegen das Unterperm bezw. im Unterperm akzentuiert sich die Differenzierung der marinen Provinzen. Die Unterpermfauna von Spitzbergen und Nebraska unterscheidet sich wesentlich von der uralischen und diese hinwiederum stark von der äquatorialen durch die Abwesenheit gewisser hier vorhandener Formen. Wichtig erscheint dagegen, daß die im Oberkarbon nur in China und Nordindien vorhandenen Brachiopodengeschlechter Lyttonia und die festgewachsenen kalkriffbildenden Richthofeniden nun in die karnischen Alpen, sowie nach Sizilien und Texas vorgedrungen sind. Man kennt sie aber nicht aus dem Himalaya und nicht aus Nordamerika.

1) Potonié, H., Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe etc. Berlin 1910, S. 152ff.

Mittel- und Oberperm ist durch eine Invasion charakterisiert, welche von einer arktischen Fauna von Spitzbergen herunter, wo sie schon etwas früher existierte, nach Europa herein stattfindet. Diese wandert zuerst in Ostrußland ein, wo man sie im mittleren Perm trifft; im oberen Perm trifft man sie in Norddeutschland, in den Dinariden, auf der atlantischen Seite der Vereinigten Staaten. Es ist die bekannte Zechsteinfauna, die im obersten Perm auch in der indischen Saltrange erscheint. Im Zentrum der Vereinigten Staaten dagegen hat sich seit dem unteren Perm eine Fauna bis zum Ende der Permzeit gehalten, die sich auf eigene Weise entwickelte und offenbar nie Zuzug von außen bekam.

Die deutsche Zechsteinfauna ist eine nicht gerade brackische, aber wohl lagunäre Fauna, eine Art Kaspische See-Fauna, charakterisiert durch die große Zahl der Individuen und den geringen Reichtum an Gattungen und Arten. Cephalopoden fehlen ganz, Lamellibranchiaten herrschen vor, dann kommen Gastropoden, dann Brachiopoden. Meistens sind die Individuen klein. Ähnlich ist es auch mit den Bellerophonkalken in den südlichen Ostalpen.

In Armenien, im Himalaya, in der Saltrange und im Malayischen Archipel existierte zur Zechsteinzeit eine von der beschriebenen ganz verschiedenartige Fauna; denn hier persistieren die karbonischen Typen und wandeln sich eigenartig um; es ist die pelagische Fazies des Oberperm. So können wir also, wenn nicht eventuell nur Faziesverschiedenheiten diese Provinzen bedingen, eine nordische und eine äquatoriale Provinz unterscheiden; nur wenige Arten haben sie gemeinsam.

Vom Perm ab müssen wir auch mit der Tiergeographie des Landes rechnen. Hier treten die großen altertümlichen Landstegocephalen und Primitivreptilien auf, und auch das Karbon hat uns schon amphibische Landtiere geliefert — ganz abgesehen von den Pflanzen, die nachher zu besprechen sind. Aus dem Perm kennen wir im wesentlichen aus Europa, Texas und Südafrika solche Landtiere, und zwar sind sie allen in drei Regionen total verschieden. Um so auffallender ist es, daß das Genus Pariasaurus in Rußland an der Dwina und in Südafrika in ganz gleicher Weise vorkommt, ohne daß man wüßte, wie man den Landzusammenhang, der hierdurch postuliert wird, zwischen den zwei Kontinentalmassen konstruieren soll. Will man nicht zur autochthonen zweimaligen Entstehung der Form sich bekennen, so bleibt wohl in Anlehnung an das auf S. 288 ff. Gesagte zunächst nichts übrig, als anzunehmen, daß die Form in beiden Ländern von einem dritten her eingewandert ist, denn man kann absolut nicht absehen, wie man die Landbrücke vom Nord- zum Südkontinent auch nur zeitweise schlagen soll. Daß Stegocephalen überhaupt zum erstenmal im untersten Karbon Nordamerikas auftreten, ist vielleicht ein Fingerzeig für das Entstehungszentrum jener altertümlichen Typen. Denn Nordamerika steht sowohl mit Europa, wie mit Südamerika und dieses mit Afrika das ganze Altertum über in Verbindung, und so ließe sich die Verbreitung der genannten russischen und südafrikanischen Form am ehesten erklären. Allerdings ist sie in Nordamerika selbst noch nicht gefunden.

Wie schon vorhin (S. 411) erwähnt, verdrängt im jüngsten Oberkarbon die neue Glossopterisflora die alte des Karbon, ein Prozeß, der in der Trias erst vollendet wird. Zunächst herrscht sie im Oberkarbon und Perm in Australien, Indien und Südafrika. Nach Seward findet sich bei Johannesburg in Südafrika eine altmodische Sigillarie unter

der jungen Glossopterisflora. Wenn man sich des vorhin erwähnten Vorkommens der reinen Karbonflora alten Stils am Zambesi erinnert. so muß man mit Zeiller annehmen, daß Transvaal einen der Grenzpunkte darstellt, wo diese beiden botanischen Reiche sich berührten. Eine zweite derartige Kontaktstelle existierte wohl in Südamerika. denn aus dem Süden Brasiliens und aus Argentinien werden beide Floren in Vermischung mit einander angegeben. Auch aus Madagaskar ist neuerdings Glossopteris bekannt geworden.

Im Perm ist die neue Pflanzenwelt schon bis Rußland vorgedrungen. Denn im Bassin von Kuznetsk trifft man die Glossopterisform Phyllotheca in denselben Lagen mit den alten Typen zusammen an. Im oberen Perm ist sie schon in Nordrußland an der Dwina. Im übrigen Europa lebte zur Permzeit eine teils der karbonen noch idente, vielfach aber neuartige, Araucariazeen enthaltende Flora.

Ein sehr schwieriges Moment für die Beurteilung des permischen und oberkarbonischen Klimas ist die ausgedehnte Eisbedeckung der Südhemisphäre. Es ist angesichts der sicher nachgewiesenen und ausgedehnten Glazialablagerungen, die wir aus Indien, Australien, Tasmanien, Südafrika und Südamerika kennen, nichtmehr so wichtig für unsere mehr allgemeinen Erörterungen, ob auch andere glaziale bezw. angeblich glaziale Vorkommen auf der Südhemisphäre noch hierher zu rechnen sind, wie das von Stutzer in Belgisch-Kongo[1]) und von Grosse ebendort[2]) entdeckte Vorkommen, woran kaum zu zweifeln ist. Unsicher sind aber die von der Nordhemisphäre beschriebenen Spuren. So nimmt Hobson für Permkonglomerat in Devonshire einen glazialen Ursprung an[3]), teils weil er angeblich gekrizte Stücke darin gefunden haben will, teils weil die einzelnen transportierten Blöcke viel zu schwer und groß seien, um fluviatil an Ort und Stelle gekommen zu sein. Sicher nicht aufrecht erhalten lassen sich die von G. Müller aus der Steinkohlenformation des Ruhrbeckens beschriebenen zwei Vorkommen von gekrizten Geschieben von der Basis eines roten Pflanzensandsteines des Perm, der unmittelbar auf poliertem und geschliffenem Tonschiefer der kohleführenden Karbonformation aufliegt. Es handelt sich jedoch um einen tektonischen Gleitharnisch, wobei losgerissene Gesteinstrümmer mitpoliert und -gekrizt wurden. Tschernyschew gibt am Ostabhang des Ural Glazialgerölle an[4]), die er für Zeitäquivalente der südhemisphärischen Vereisung hält; auch dieses Vorkommen kann noch nicht als ganz gesichert gelten. Die Möglichkeit besteht natürlich. daß die alten variszischen Faltengebiete überhaupt Eiskappen bezw. Gletscher trugen, deren Ablagerungen, wie v. Lozinski annimmt. auf das Gebiet der Gebirge selbst beschränkt blieb und mit diesem daher auch wieder völlig abgetragen werden konnten[5]).

1) Stutzer, O., Über Dwykakonglomerat im Lande Katanga, Belgisch-Kongo. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 63, Monatsber., Berlin 1911, S. 626—629.

2) Grosse, E., Dwykakonglomerat und Karroosystem in Katanga. Ibid. 1912, Bd. 64, S. 320—321 (Monatsber.).

3) Hobson, B., The origin and mode of formation of the permian breccias of the south Devon coast. Geol. Magaz. Dec. V, Vol. 3, London 1906, S. 310—320.

4) Tschernyschew, Th., Die oberkarbonischen Brachiopoden des Ural und des Timan. Mém. Comité géol., Tome XVI, No. 2, St. Petersburg 1902, S. 713, 728.

5) v. Lozinski, W., Zur Bildungsweise der Konglomerate des Rotliegenden. Jahrb. k. k. Geol. Reichsanst., Bd. 62, Wien 1912, S. 209—218.

Ich verzichte, um nicht zu weitschweifig zu werden, auf die Beschreibung der Vorkommen in den einzelnen genannten Ländern. Es sind eben die typischen glazialen Sande und Lehme mit reichlich gekritzten Geschieben, die in Indien sicher von Süden nach Norden verfrachtet worden sind; denn nicht nur findet man die Gletscherschliffe da und dort durchweg in dieser Richtung laufend, sondern auch in der Saltrange bestehen die Gerölle aus Eruptivgesteinen, welche für den Nordrand des Alten Massios der Indischen Halbinsel charakteristisch sind.

Von Queensland im Norden bis Tasmanien im Süden sind die permokarbonen Glazialablagerungen in Australien verbreitet. Im Westen und Osten wechsellagern sie mit Marinschichten, so daß dort das Eis zweifellos in's Meer gekalbt hat. Es sei erinnert an das Profil aus Neusüdwales (S. 362), an dem man deutlich die eine Rückzugsphase und den neuen Vorstoß wahrnehmen konnte. Auch in Australien ging das Eis in Süd-Nordrichtung.

Besonders in Südafrika sind die permokarbonen Glazialschichten sehr genau untersucht und ausgezeichnet erhalten und zwar so, daß sie nach der Beschreibung Molengraaff's unseren diluvialen Glazialablagerungen an Schönheit der Erhaltung nichts nachgeben. Nirgends stehen sie hier in Verbindung mit marinen Schichten, vermutlich hat sich die Eisdecke da und dort noch länger erhalten, und vielleicht hängt es damit teilweise zusammen, daß eine unbedingte Gleichzeitigkeit der Vereisung inbezug auf Beginn und Ende von mancher Seite in Zweifel gezogen werden kann[1]).

Hier ist wichtig, was Semper in dem schon genannten Referat auf S. 66 sagt: „Ziemlich allgemein, mit einer einzigen Ausnahme, betrachtet man die Gletscherherde als hochliegende Landstrecken, speziell als Gebirge, und die Tektonik der nach der Richtung des Eisschubes als Herd in Betracht kommenden Gebiete verleiht dieser Annahme eine Stütze. (Man hätte es dann jedenfalls in Indien und Australien mit relativ steilem Gefälle der Gletscherbahn, mit rasch vorwärts gedrängten Eismassen zu tun und dementsprechend mit reichlichem Niederschlag auf den speisenden Firnfeldern.) Die Beschaffenheit der afrikanischen Driftsedimente läßt sich nur verstehen, wenn man stark bewegtes Wasser annimmt, das eine Sortierung des feineren und gröberen Detritus, wie er am Stirnrand des antarktischen Eises beobachtet wird, nicht gestattete ... Über die Tektonik des brasilianischen Eisherdes liegen noch keine Bemerkungen, jedenfalls noch keine Anwendungen auf diese Fragen vor ... Alle diese Erwägungen, nebst einer Reihe anderer wirken dahin zusammen, ein kontinentales Klima mit recht beträchtlichen Gegensätzen zwischen Winter und Sommer für das Gondwanaland und seine Flora anzunehmen, verhindern aber, die Glossopterisflora, wie es meist geschieht, kurzweg als Glazialflora zu bezeichnen."

Wenn in so unverkennbarer Weise gleichzeitig mit der Verschlechterung bezw. stärkeren Differenzierung des Klimas auf der Erde, wie wir es vom obersten Karbon ab in's Perm hinein konstatieren, auch ein Florenwechsel vor sich geht und gerade dort einsetzt, wo wir die Eisregionen finden, so legt das die Annahme eines Zusammenhanges beider Erscheinungen gewiß nahe. Wenn man daher, wie Semper

1) Näheres in der schon zitierten Zusammenstellung von Semper in der Geol. Rundschau 1910, Bd. I, S. 66.

Google

darlegt, Gründe hat, einen solchen Zusammenhang nicht für unmittelbar gegeben zu halten, obwohl er, wie der direkte Augenschein lehrt, irgendwie besteht, so muß eben nach einem vermittelnden Dritten gesucht werden. So wäre es denkbar, daß die Glossopterisflora schon vorher in der Südpolarregion, wo es auf jeden Fall zuvor schon kälter war, existierte, vielleicht unter dem Einfluß der dortigen Bedingungen entstand, dann durch die südhemisphärische Vereisung bezw. Abkühlung Gelegenheit zum Vorstoßen und zur Anpassung an etwas andere biologische Verhältnisse fand. Hatte sie erst dieses Stadium erreicht, so war sie vielleicht auch befähigt, alsbald sich vom Eise zu entfernen und schließlich in ganz gletscherfreien Gebieten, auf der Nordhemisphäre sich zu verbreiten und so unter allmählicher Angewöhnung schließlich unter Verhältnissen heimisch zu werden, in die sie mit einem Schlage nicht hätte eintreten können. So mag das Auftreten der Glossopterisflora in den uns bekannten permischen bezw. permokarbonen Glazialgebieten schon ein zweites Stadium ihrer Existenz bedeuten und deswegen nicht unter ganz streng einheitlichen ökologischen Bedingungen dort gestanden haben. Daß die Regionen, wo das Eis lag — ganz einerlei, wo es etwa herkam — auf alle Fälle eine gewisse Abkühlung haben mußten, ist wegen der Absorptionskraft schmelzenden Eises für Wärme ganz selbstverständlich. Wenn wir also in unmittelbarer Nähe des Eises die Glossopterisflora haben, so muß diese notwendigerweise zwar vielleicht nicht ein niederschlagsärmeres, wohl aber ein kühleres Klima repräsentieren, als die Steinkohlenflora.

Sehen wir uns aber das Permklima auf der Nordhemisphäre an, so ist noch einmal darauf hinzuweisen, daß wir keine sicheren Eisspuren als Äquivalent der südlichen dort besitzen und daß die Zechsteinzeit zweifellos niederschlagsärmer als die Rotliegenzeit ist. Die vielen klastischen Materialien, die Konglomerate des Rotliegenden lassen starke Erosion und Niederschläge, wenn auch mit Unterbrechungen ganz zweifellos erscheinen, und der Wüsten- oder Kieswüstencharakter, der von mancher Seite betont wird, steht in keinem Widerspruch zu der zeitweisen oder regelmäßigen Unterbrechung durch starke Niederschläge und der daraus hervorgehenden Landseenbildung. Auch die den karbonischen Gewächsen analogen Pflanzen[1]), die doch auf Feuchtigkeit hinweisen, bestätigen das. Wir werden an die Schilderungen WALTHER's über den devonischen Old red erinnert. Rote Tone und Konglomerate treten oft in dem unterpermischen Rotliegendsandstein auf und verraten uns starke Niederschläge, die mit langen Trockenperioden abwechselten, während welcher die Insolation und der Wind ihre Arbeit taten. Höher mag die Durchschnittstemperatur und Trockenheit im Zechstein gewesen sein. Der Niederschlag von Salzen und Gips, besonders aber der Niederschlag der Kalisalze und Karnallite, erforderte in den vom Meere abgeschnürten und nur durch dünne oberflächliche Wasserhäute mit ihm gelegentlich in Verbindung stehenden Becken und Lagunen sicher starke Verdampfung in trockenem, warmem Klima. Derartige tonige, sandige und salzig-gipsige Permablagerungen begegnen uns vor allem in Norddeutschland und Ostrußland, aber auch in den Südalpen und in den Vereinigten Staaten. Über die klimatischen

1) Vgl. REIS, O. M., Über einige im Unter- und Oberrotliegenden des östlichen Pfälzer Sattels gefundene Tierreste. Geognost. Jahresh., Bd. XXV, München 1912, S. 243—244.

Bedingungen, unter denen sie entstanden, ist im Kapitel VII (S. 229/31) schon das Nähere mitgeteilt worden.

Über das flötzleere Rotliegende der Krakauer Gegend hat v. Lozinski an der zitierten Stelle die Meinung geäußert, daß das darin enthaltene Geröll aus den variszischen Präkarpathen herbeigeschafft worden sei. Das Vorkommen eines Vierkanters beweise neben der fluviatilen auch die Windwirkung, aber einen Wüstenzustand will er nicht gelten lassen. Denn die für Wüstenbildung im Rotliegenden überhaupt angeführten Merkmale könnten auch durch eine Klimaverschlechterung erklärt werden. Zwischen Wüstenwirkung und subarktischer Klimawirkung besteht eine große Übereinstimmung hinsichtlich der Verwitterung und subaërischen Anhäufung des Materials. Im subarktischen Klima werde die subaërische Anhäufung von unzersetztem Feldspatdetritus zu Arkosen ebenso gefördert, und zusammengehalten mit dem fluviatilen Gerölltransport erscheint ihm das Rotliegende geradezu als eine Abkühlungsperiode.

g) Trias.

Tiergeographische Unterschiede bestehen zwar in der Trias bis zu einem gewissen Grade, aber sie beruhen zum größten Teil wohl auf der raschen, fast könnte man sagen: explosiven Produktion neuer Ammonitenformen in allen möglichen Gebieten der Erde. Diese vielfach auch auswandernden Formen bringen eine gewisse Unterschiedlichkeit zeitweise in den einzelnen Weltgegenden hervor, ohne daß das klimatische Gründe hätte. Daß z. B. der deutsche Muschelkalk mit seinen im Vergleich zu alpinen Gebieten geringzähligen Ammonoideen und verarmten Mollusken- und Brachiopodenfauna mit alpinen Arten nur einen Unterschied der Fazies, des Bodens, der Wasserstagnation oder dergl., und nicht scharfe klimatische Grenzen bedeutet, ist schon um dessentwillen kaum zu bezweifeln, weil diese Fazies gelegentlich in den Südalpen und im Mediterrangebiet wiederkehrt[1]). Die auffallende Übereinstimmung der alpin-pelagischen Ammonitengattungen, wenn auch nicht immer -arten in der ganzen Welt, die kosmopolitische Verbreitung von Pseudomonotis, wie überhaupt gerade der das Flachwasser bewohnenden Marinfaunen[2]), die doch am ehesten auf Klimadifferenzen und ausgesprochene Temperaturunterschiede von Meeresströmungen reagieren müßten; die Korallenriffe bis Alaska hinauf[3]): alles das zeigt, daß die wenigen Spezialunterscheidungen, die man machen kann, kaum tiefere Bedeutung für die klimatische Charakterisierung haben. Es scheint sich bei diesen Verschiedenheiten eher um das Auftreten von Formen in Entstehungszentren zu handeln, die erst etwas später von ihrem Ursprungsorte aus in andere fernere Meeresgebiete einwanderten. Nach Haug soll man eine alpine, eine boreale und eine indopazifische Provinz unterscheiden können. Die alpine sei charakterisiert durch die Anwesenheit von Tirolites und die Abwesen-

1) Tornquist, A., Über die außeralpine Trias auf den Balearen und in Katalonien. Sitz.-Ber. Königl. Preuß. Akad. Wiss., Berlin 1909, Bd. XXXVI, S. 902—918.

2) Frech, F., Über Aviculiden von paläozoischem Habitus aus der Trias von Zacatecas. Compt. rend. X. Congr. géol. intern., Fasc. 1, Mexico 1907, S. 329—330.

3) Smith, J. P., The occurrence of Coral reefs in the triassic of North America. Amer. Journ. Science, 4. Ser., Vol. XXXIII, New-Haven 1912, S. 93—96.

Digitized by Google

heit von Dinarites in der unteren Trias; in der borealen tritt Dinarites Keyserlingites und Sibirites auf; in der indopazifischen dauern die permischen Medlicottiiden fort, und zwei neue Familien erscheinen (die Noritinae und Thalassoceratiden). Es ist ja sehr begreiflich, wenn in der Untertrias noch etwas größere Differenzen in der Faunenverteilung nachweisbar sind, als in der mittleren und oberen; es zeigt das nur, wie kontinuierlich und allmählich sich die irdische Natur von der Permvereisung erholte.

Ein ausgezeichnetes Beispiel für die Beeinflussung des Untertriasmeeres in Nordamerika durch die drei genannten Provinzen hat Perrin Smith beschrieben. In der unteren Trias erscheint zuerst Meekoceras, aus der indopazifischen Provinz; in einer etwas höheren untertriassischen Stufe kommt Colombites, ein typischer Nordländer; und in der obersten Untertrias kommt Tirolites aus der alpinen Provinz — eine bemerkenswerte Wanderung von Typen dreier Regionen nach einem Punkte, wo sie zusammentreffen.

Zur Muschelkalkzeit sind alle Gattungen zwischen Spitzbergen und den Alpen, also zwischen der borealen und alpinen Provinz, verschieden, aber die Gattungen sind identisch; es kann sich daher wohl nicht um zwei eigentlich tiergeographische Provinzen, sondern um gering differenzierte Standortsverschiedenheiten handeln. Dagegen bildet nach Haug die Himalayaregion eine eigene Provinz: denn nicht nur, daß die meisten Arten verschieden sind, auch spezifische Genera treten dort auf (Gruppe des Ptychites Gerardi; Genus Buddhaites, Smithoceras, Subgenus Pseudodanubites, Haydenites, Salterites). Der Westen Nordamerikas zeigt seinen Arten nach arktischen Charakter. Nevada dagegen alpin-mediterranen. Wenn man allerdings die gerade in der Triasliteratur durch Mojsisovics seinerzeit inaugurierte, weitgetriebene Formzerspaltung berücksichtigt, und andrerseits beachtet, daß gewisse Faunendifferenzierungen keine klimatischen Unterschiede bedeuten, wenn der biologische Habitus derselbe ist, dann wird man die angegebenen Unterschiede nur als fazielle würdigen können. Eben diese Verhältnisse scheinen auch in der mitteltriassischen ladinischen Stufe zu herrschen, aber die amerikanische und boreale Provinz sind ausgeglichener als zuvor, und diese Ausgeglichenheit der Provinzen steigert sich in der karnischen Stufe soweit, daß zwischen den Alpen, dem Himalaya, West- und Nordamerika so gut wie völlige Faunengleichheit herrscht.

In der Obertrias schließlich läßt sich nur eine himalayische und eine alpine Provinz unterscheiden, zu welch' letzterer auch Kalifornien gehört. Hier ist es auch, wo das Genus Pseudomonotis weltweit verbreitet vorkommt.

Die Pflanzen machen, wo man sie findet, den Eindruck größerer Einheitlichkeit als im Perm. Die Landtiere sind zu wenig bekannt.

Semper faßt seine Ergebnisse über das Triasklima folgendermaßen zusammen[1]): „In der Trias fehlen Glazialspuren; nichts deutet auf die Existenz von Klimazonen, vielmehr finden wir auf eurpoäischer Seite über dem Festland klimatische Gleichförmigkeit auf allen Breitegraden bis nach Franz-Josefsland hinauf und dasselbe über der ganzen Fläche des dazu antipodisch gelegenen Stillen Ozeans. In Europa wandelte

1) Semper, M., Das Klimaproblem der Vorzeit, a. a. O. S. 67. Dortselbst auch noch genaue Literaturnachweise.

sich das aride Wüstenklima, das den Abschluß des Perm bildete, in heißes Steppenklima um und schuf so Zustände, die denen des Rotliegenden ähnlich waren, von anderer Seite aber als ausgesprochen wüstenartig bezeichnet werden. Abermals drang, wie im Zechstein, ein boreales (kühles?) Meer heran, in dem sich der Muschelkalk bildete und so vorübergehend eine vom mediterranen klimatisch gesonderte, freilich tief in mediterranes Gebiet eingreifende Provinz bildete." In welchem Sinne ich diese Erscheinung auffasse, ist oben gesagt. Daß eine marine Verbindung nordwärts „kühleres" Wasser in Form von Ausgleichsströmungen nach Süden bringen mußte, ist selbstverständlich; das bedeutet aber nicht, daß scharf gesonderte Klimagürtel bestanden im heutigen Sinne. Schon auf S. 392 setzte ich auseinander, daß ich unter dem Ausdruck „gleichmäßiges" oder „ausgeglichenes" Klima nicht absolute, sondern nur relative Ausgeglichenheit, d. h. Abschwächung der solar bedingten scharfen primären Unterschiedlichkeit von Polar- und Äquatorialzone verstehe. Das eventuell „kühlere" germanische Muschelkalkwasser mag daher immer noch wärmer gewesen sein, als es heutige boreale Strömungen sind. Man denke nur an den Wärme erfordernden Gipsabsatz im germanischen Muschelkalkmeere. Für den Buntsandstein möchte ich wegen der vielen klastisch-konglomeratigen Gesteine ein niederschlagsreicheres, etwas gegensätzlicheres Klima annehmen, als für den Muschelkalk. Die Hauptmasse der Buntsandsteinablagerungen ist sicher nicht äolischen Ursprungs, sondern es werden meist Deltabildungen im weitesten Sinne sein, teils subaërisch, teils subaquatisch, teils marin, teils nur im Süßwasser verfrachtet und abgesetzt. Von Wüstenbildungen. also klimatischen Zuständen, wie sie etwa heute in der Sahara bestehen, kann schon deshalb keine Rede sein, weil trotz mariner Bänke kein Salz sich in Verbindung damit findet und weil gerade die charakteristischsten Wüstenerscheinungen: schwarze und dunkelbraune Verwitterungskrusten und braungelber Sand fehlen; die Kreuzschichtung kann auch in einem nicht sehr ariden Klima auf einem vorübergehend austrocknenden Flachmeerboden entstehen und Dünenaufwehung ist kein ausschließliches Kennzeichen für Wüsten[1]).

Semper fährt an der zitierten Stelle weiter: „Im Keuper stellte sich dann in Deutschland ein heißes, trockenes Klima wieder her mit häufigen unregelmäßigen und starken Niederschlägen. Weiter westlich in England, wohin die boreale Transgression des Muschelkalkmeeres nichtmehr gelangte, schloß sich an den Buntsandstein mit einem Klima wie heute in Turkestan und den persischen Wüsten sogleich die Keuperbildung an, mit gleichfalls trockenem, heißem Klima und mit Zuständen, die sich denen des Toten Meeres und seiner Umgebung vergleichen lassen."

Was wir also aus der Trias wissen: reichliche Kalkentwicklung in den alpinen Gebieten mit Ausnahme der Untertrias; verhältnismäßig große Einheitlichkeit des Habitus, wenn auch nicht der Spezies und der Gattungen in den Marinfaunen; Gleichmäßigkeit der Pflanzentypen, deutet auf ein allgemein warmes und höchstens ganz entfernt differenziertes Klima, das im Buntsandstein wohl am niederschlagreichsten war. Daß Korallen nur in alpinen Meeren entwickelt sind und nicht

1) Vgl. Tornquist, A., Die Binnenmeerfazies der Trias. Geol. Rundschau, Bd. III, Leipzig 1912, S. 111—129.

in dem germanischen Rhät liegt ganz zweifellos an dem unruhig transgredierenden, Sand mit sich führenden Charakter unseres Rhätmeeres, nicht an Klimaunterschieden; denn die Korallen vertragen nur klares Wasser. Dieses Triasklima, das auf den Festlandsarealen natürlich etwas anders geartet gewesen sein muß, als über den Meeren, dürfen wir trotzdem gegenüber dem altkambrischen, unterpermischen und jetztweltlichen als einheitlich bezeichnen. Die vielen roten Sandsteine sprechen nicht unbedingt für trockene Areale (vgl. die Ausführungen über den Buntsandstein im Kapitel IX, S. 336ff.); die Gips- und Salzlager sprechen für marine Lagunen in der Umgebung von heißen, trockenen Arealen, wenn diese auch gelegentlich oder periodisch von Niederschlägen heimgesucht wurden[1]). Das stimmt sehr gut zu dem gänzlichen Fehlen von Eisspuren und zu der Tatsache, daß sich meines Wissens in der Literatur nie ein Zweifel an dem gleichmäßig warmen Zustande der Triaszeit gemeldet hat. Eine neue Nachricht über angebliche Glazialspuren triassischen Alters im mittleren Westafrika sind ganz und gar unsicher und angesichts des Obigen ohnedies unwahrscheinlich. Im einzelnen hat ganz zweifellos bald mehr niederschlagsreicheres, bald trockenes Klima in den einzelnen Regionen geherrscht, derart, wie es z. B. Blanckenhorn darlegt: „So möchte ich für die Perioden des Rotliegenden, des Hauptbuntsandsteines, teilweise des oberen Buntsandsteines ... und vielleicht auch des Schilfsandsteines niederschlagsreiches, dagegen für die Perioden des mittleren und oberen Zechsteines, des Röths im nordöstlichen Deutschland, mittleren Muschelkalkes und vielleicht auch des mittleren oder bunten Keupers (mit einigen Einschränkungen) trockenes Steppenklima annehmen. Letzteres erreichte namentlich gegen Anfang des oberen Zechsteines seinen Höhepunkt inbezug auf Trockenheit und kam da einem Wüstenklima fast gleich; die eigentliche Buntsandsteinzeit brachte dann wieder allmählich, namentlich während des Hauptbundsandsteines erhöhte Niederschläge, lateritische Zersetzung der inzwischen während der Zechsteinzeit angesammelten Schuttmassen der Gebirge ..." Von Klimazonen ist aber nirgends die Rede.

h) Jura.

Neumayr hat seinerzeit in einer nicht nur für die Jurazeit, sondern auch für alle anderen Formationen vorbildlich und klassisch gewordenen Arbeit drei Hauptprovinzen des jurassischen Meereslebens aufgestellt: eine boreale, charakterisiert durch die Muschelgattung Aucella, durch die virgatiten Perisphincten, die cylindrotheuten Belemniten und durch die Abwesenheit von Riffkorallen; sie umfaßte Zentralrußland und die Borealregion mit Alaska. Eine zweite, gemäßigte Zone, der zentraleuropäischen Tiergemeinschaft entsprechend, charakterisiert vor allem durch Oppelia, Reineckia und Peltoceras. Eine dritte, äquatoriale Zone, der alpin-mediterranen Provinz entsprechend, charakterisiert durch die Häufigkeit, ja das so gut wie ausschließliche Auftreten der Ammonitengenera Lytoceras, Phylloceras und Simoceras; die ersteren beiden sind auffälligerweise gerade

1) Blanckenhorn, M., Der Hauptbuntsandstein ist keine echte Wüstenbildung. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 59, Monatsber., Berlin 1907, S. 310 und 311.

jene Juraformen, die als einzige aus der reichen triassischen Ammonitenwelt sich in den Jura herübergerettet haben.

Im Lias noch unausgesprochener, ebenso im Dogger, differenzieren sich diese Faunenprovinzen, die NEUMAYR zugleich für Klimagürtel parallel den heutigen ansprach, im Oberjura nach UHLIG deutlicher; Südamerika, Afrika, Kutch an der Indusmündung und Australien sollten dann südlich des äquatorialen Gürtels einen südlich gemäßigten repräsentieren; der südlich-kalte sei nicht unbekannt.

Die NEUMAYR'schen Tierprovinzen und erst recht die Klimazonen haben sich in der von ihm proponierten Schärfe nicht halten können. Was sich gehalten hat, ist die boreale Provinz, deren gänzliche Armut an Riffkorallen außer an einem Punkte — im westlichen Nordamerika — auch im Oberjura nach wie vor charakteristisch ist. Die mediterranen und die mitteleuropäischen Unterschiede dagegen sind nur solche der Tiefenfazies. Daß sie es sind, geht vor allem daraus hervor, daß gerade die Riffkorallen zur Oberjurazeit in der mitteleuropäischen und nicht in der mediterranen, also, nach der NEUMAYRschen Einteilung, in der gemäßigten und nicht in seiner äquatorialen Zone lebten. Dies erklärt sich daraus, daß sie seichtes und kein tiefes Wasser brauchen; Mitteleuropa war aber im Jura die seichte epikontinentale Randzone zur alpin-mediterranen, damals sehr tiefen Geosynklinale.

Zwar können wir mehrere tiergeographische Zentren im oberen Jura nach UHLIG unterscheiden, aber sie deuten auf eine klimatisch denkbar geringste Differenzierung, weil ihre Faunen — es bezieht sich das so gut wie ausschließlich auf Ammoniten — oft kaum im Habitus verschieden sind. Es gilt genau dasselbe, was bei der Trias bemerkt wurde: daß zwar gewisse Unterschiede zwischen den Provinzen bestehen, daß aber — mit Ausnahme der boreal-russischen — der biologische Habitus außerordentlich gleichartig ist. POMPECKJ meint in seiner unten zitierten Abhandlung, daß die Faunenverteilung des Jura nicht etwaigen zonar geordneten Temperaturverhältnissen zuzuschreiben seien, sondern daß topographische Bedingungen, Eröffnung neuer Meeresstraßen, auf denen mit besonderer Vorliebe gerade Formen aus dem borealen Reiche auswanderten, die Ursachen einer bis zu einem gewissen Grade vorhandenen Faunendifferenzierung seien. Schon die große Ausdehnung nach Süden, welche UHLIG nun der borealen Provinz gibt, spreche gegen klimatisch bedingte Zonenwiederspiegelung in der Tierwelt der Jurameere. Daß eine gewisse Differenzierung im Großen da war, zeigt aber gerade der Gegensatz der borealen Faunenfazies einerseits gegenüber allen übrigen andrerseits. Dieser Gegensatz besteht auch in Anbetracht dessen, daß bis zu einem gewissen Grade auch boreale Elemente in andere Regionen eindringen (Aucellen) und umgekehrt (Phylloceras). Er zeigt, daß das Klima der Erde, welches gemäß der Kugelgestalt primär solar gegliedert ist, jedenfalls durch andere Faktoren tunlichst ausgeglichen war.

Und ganz dasselbe sagen uns auch die Pflanzen. Wo wir solche finden — in den arktischen Regionen oder unter dem Äquator, in Indien oder in dem gemäßigten Südafrika, in Australien, Europa oder China — stets sind es dieselben Formen. Man liest oft von dem angeblich

1) UHLIG, V., Die marinen Reiche des Jura und der Unterkreide. Mitteil. Geol. Ges. Wien, 1911, Bd. IV, S. 329—448.

Digitized by Google

von Gothan erbrachten Nachweis[1]), daß Abietineenhölzer aus dem Jura von König Karls-Land Jahresringe zeigten, während die aus südlicheren Gegenden diese Erscheinung nicht zeigten; das Klima zur Jurazeit sei also im Sinne Neumayr's deutlich differenziert gewesen. Auch Haug hat in seinem Traité sich diese Beweisführung zu eigen gemacht. Aber die genauere Untersuchung der Lagerungsverhältnisse[2]) legt es außerordentlich nahe, das Vorkommen der betreffenden Hölzer für wesentlich jünger zu halten als jurassisch, nämlich für Tertiär, und diese Annahme wird geradezu zwingend, wenn man in der Gothan'schen Arbeit den Satz findet, daß die Hölzer auffallend an tertiäre erinnerten.

Es scheint aber, als ob im Lias, gegenüber der Trias und dem höheren Jura, sich doch das Klima etwas verschlechtert hatte, doch nicht soviel, daß die Meeresbewohner merkbar davon betroffen worden wären. Wie jüngst Pompeckj ausführte[3]), herrschen im Lias West- und Mitteleuropas klastische detritogene Gesteine vor, Kalk tritt zurück. Das hat zur Voraussetzung die Zufuhr mächtiger Detritusmassen durch größere, wasserreiche Flußsysteme auf den die betreffenden Jurameere umgebenden Ländern. Im unteren Malm Süddeutschlands tritt detritogenes Material allmählich zugunsten kalkiger Absätze zurück; wenn auch vereinzelt (Kimeridge von Norddeutschland) noch mehr terrigene Bildungen angetroffen werden, so wiegt doch auch da der Kalk mehr und mehr vor. Schließlich übertrifft der gesamte Kalkgehalt des Malm weit die Menge des den Lias- und Doggergesteinen beigemengten Kalkmateriales. „Verkleinerung der Flußsysteme auf den zum Teil kleiner gewordenen Landmassen (Fennoskandia, böhmische Insel, vindelizisches Land), zum Teil aber auch größer gewordenen Ländern (die Ardenneninsel wurde im Osten mit dem Harz und wohl auch mit Böhmen verschweißt) kann die petrographischen Unterschiede zwischen Lias-Dogger und Malm nicht erklären. Lediglich verkleinerte Flußsysteme hätten mit geringeren Quanten von Flußtrübe auch geringere Quanten gelösten Materials den Meeren zugeführt. Die Kalke etwa durchweg als weit strandferne, außerhalb des Gürtels detritogener Massen anzusehen, geht nicht wohl an. Viele der Kalke (z. B. die oolithischen) sind strandnächste Flachseebildungen."

Nach alledem denkt Pompeckj für den Malm an vorherrschend trockeneres Klima und geringere Niederschläge, beides verknüpft mit Erhöhung der Durchschnittstemperatur.

Ein weiteres Argument zugunsten eines wärmeren Klimas im Malm als im Lias bringt Handlirsch in den schon S. 384/85 zitierten Mitteilungen bei, wonach im Lias die Länge der Insektenflügel durchschnittlich viel kleiner ist als im Malm, was nach den dortselbst dargelegten Gesichtspunkten also auf eine Wärmezunahme nach dem Malm hindeuten würde. Nimmt man zu allen diesen Erscheinungen noch das auffallende Zurücktreten der riffbildenden Korallen im Lias, ihre allmähliche Anreicherung in unseren Gegenden im Dogger und ihre

1) Gothan, W., Die Frage der Klimadifferenzierung im Jura und in der Kreideformation im Lichte paläobotanischer Tatsachen. Jahrb. Königl. Preuß. Geol. Landesanst. für 1908, Bd. XXIX, Teil II, Berlin 1912, S. 220.

2) Burckhardt, C., Remarques sur quelques travaux récentes relat. à des questions de Paléoclimatologie. Mexico 1911. (Sp.)

3) Pompeckj, J. F., Die Bedeutung des schwäbischen Jura für die Erdgeschichte. Akadem. Antrittsvorlesung, Stuttgart 1914, Note 15, S. 48/49.

Digitized by Google

üppige Entwicklung im Malm, wo sie durchweg viel weiter nördlich vorkommen, als im Dogger, und im Dogger nördlicher, als im Lias, dann darf man wohl folgern, daß nach der oberen Trias das Klima niederschlagsreicher und etwas differenzierter wurde, um erst im Malm wieder zu einem der oberen Triaszeit entsprechenden Zustande zurückpendeln, in dessen höchster Stufe, nach den Marinfaunen zu schließen, sich das anzubahnen beginnt, was uns die Unterkreide alsbald zeigt.

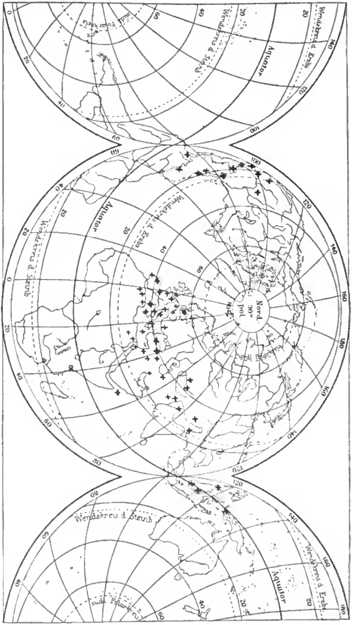
i) Kreide.

Mit der Unterkreide hebt sich die im obersten Jura schon entwickelte, aber noch sehr verschwommene boreale Meeresprovinz deutlicher heraus. Sie ist charakterisiert durch das Belemnitengenus Cylindrotheutis und die auch im Oberjura schon wesentlich boreale Muschelgattung Aucella. In der mediterranen Region fehlen sie, dafür sind dort andere Belemnitengenera entwickelt, mit Ausnahme des Vorkommens von Aucella in der Krim. Ebenso treten im Norden eine Anzahl Ammonitengenera auf, die dem Mediterrangebiete fremd sind. Großschalige Foramiferen, Korallen, dickschalige riffbildende Rudistenmuscheln, Nerineen und Actaeonellen sind für diese südliche Zone charakteristisch, während sie im Norden fehlen. Diese ungeheure Kalkentwicklung deutet entschieden auf warmes Wasser im Gegensatz zum borealen Gebiet. Daß dies Temperatur- und keine bloßen Faziesgrenzen sind, erhellt aus den vielen gemeinsamen Formen beider Regionen. Die südliche Provinz umfaßt außer dem Mediterrangebiet auch die gleich südlich liegenden Teile Nordamerikas, die Tethys bis Indien und ihren madagassischen Ausläufer. Das Überraschendste ist aber die Wiederkehr des borealen Charakters in der Südhemisphäre, und was Neumayr und Uhlig für den oberen Jura krampfhaft suchten: die südlich gemäßigte Zone als Äquivalent der borealen, das tritt uns in der Unterkreide klar entgegen. Hier hat sich also gegenüber der vorbereitenden Jurazeit das Klima deutlicher differenziert. Denn in Südafrika und im südlicheren Südamerika treffen wir, abgesehen von anderen Spezialformen, auf eine von der mediterranen-äquatorialen unterschiedene eigenartige Trigonienfauna, und außerdem kehrt in Südamerika die boreale Ammonitenform Simbirskites wieder. Da sich Madagaskar an das Mediterrangebiet anschließt, so darf man hier vielleicht eine warme Strömung nach Süden annehmen, die wir nachher im Alttertiär auch wieder finden werden.

In der oberen Kreide ist die Zonenbildung so deutlich, daß sie seinerzeit schon F. Römer auffiel[1]), und seitdem hat sie sich nur noch mehr befestigt. Die riffbildenden Rudisten, Korallen, Actaeonellen und Nerineen, ebenso die großen Foraminiferen bilden die typischen Formerscheinungen im mediterran-äquatorialen Gürtel und gehen nicht über eine gewisse Grenze, die im allgemeinen mit der alpinen Tethys zusammenfällt, hinaus. Daß auch diese Verteilung eine klimatisch bedingte ist, zeigt auf's schönste das sporadische Auftreten von Rudisten im Norden und im Süden. Nach Südskandinavien haben sie sich verirrt und nach Deutsch-Ostafrika. Während sie aber in der mediterran-äquatorialen Zone üppig gedeihen, sind diese Outsider außerordentlich klein, verkrüppelt und vereinzelt geblieben; die Ac-

1) Römer, F., Die Kreidebildungen im Texas und ihre organischen Einschlüsse, Bonn 1852, S. 22—26.

taeonellen und Korallen als bezeichnende Warmwasserbewohner fehlen in der Borealregion. Auf der beifolgenden Karte (Fig. 75) ist die Nor-



Figur 75.

malverbreitung der Genera Radiolites, Hippurites und ihrer Nächstverwandten mit Kreuzchen angegeben; die Ringe bedeuten das Auftreten von Krüppelformen. Eine bezeichnende Form für das südliche Äquivalent der Borealzone ist die Ammonitengattung Kossmaticeras, während umgekehrt die Belemnitellen, wenn auch mit Ausnahme eines nordalpinen Vorkommens, die nördliche, rudistenfreie Zone charakterisieren. Außerdem hat GREGORY darauf hingewiesen, daß sowohl die grönländische, wie die englische Kreidefauna, abgesehen von der Abwesenheit riffbildender Rudisten, auch ein verkrüppelte Korallen- und Krinoideenfauna besitzen, die auf kühles Wasser deute.

Zu dieser wundervollen klimatischen Gliederung der Kreide, die sich schon allein nach den Marinfaunen vornehmen läßt, kommt als willkommene Bestätigung noch der Wechsel im Pflanzenkleid der Erde hinzu. Schon am Ende des Paläozoikums hat sich ein solcher Wechsel vollzogen, den wir bedingt als im Zusammenhang mit allgemeinen Klimaänderungen ansehen dürfen (vgl. S. 413/14), und nun in der Kreide wird die alt- und mittelmesozoische Flora von den Dikotyledonen verdrängt, was man an einem Profil in Grönland an der Westküste verfolgen kann. In einer Schieferserie von unter-, mittel- und oberkretazischem Alter folgen nach HEER von unten nach oben zuerst Farne, Cycadeen und Monocotyledonen von mesozoischem Habitus und dabei nur ganz wenige Laubbaumreste, die sich in der gleichen Vergesellschaftung nach oben wesentlich anreichern und zuletzt über die Hälfte des Florenbestandes ausmachen. Wenn darunter auch Formen sind, die jetzt in wärmerem Klima wohnen, Magnolia, Artocarpus etc. neben Populus, Quercus u. a., die ziemliche Kälte vertragen können, so spricht das nicht gegen die Zonendifferenzierung selbst, sondern nur gegen die etwaige Annahme, daß der Norden besonders kalt gewesen sei. Denn abgesehen von den schon angeführten marinen Beweisen, hat auch GOTHAN's Untersuchung kretazischer Hölzer aus dem Norden Jahresringbildung ergeben, die den kretazischen aus dem nordafrikanischen nubischen Sandstein fehlen.

Eisspuren, die aus der Kreide gemeldet werden, haben sich nicht unbedingt bestätigt. Die eine Stelle sollte in Spitzbergen liegen, wo GAARWOOD und GREGORY große Blöcke in marinen Schiefern eingestreut nachgewiesen haben wollten[1]); die betreffende Formation gehört aber nach NATHORST wahrscheinlich in's Silur[2]), und auch mit den Blöcken scheint es seine besondere Bewandtnis zu haben. Das andere Vorkommen wurde aus Australien angegeben[3]), aber dort handelt es sich wahrscheinlich um ein zur Kreidezeit durch Sturzbachwirkung auf sekundäre Lagerstätte geratenes paläozoisches Glazialmaterial. Dagegen ist es immer noch möglich, daß die Pole zur Kreidezeit vereist waren, so daß Eisdrift in etwas südlicher gelegene Breiten hätte geraten und dort erratische Blöcke hatten absetzen können. So würden sich die merkwürdigen exotischen Blöcke in der feinen marinen englischen

1) GARWOOD, E. J. and GREGORY, J. W., Contributions to the glazial geology of Spitzbergen. Quart. Journ. geol. Soc., Vol. 54, London 1898, S. 216/217.

2) NATHORST, A. G., Beiträge zur Geologie der Bäreninsel, Spitzbergens und des König Karl-Landes. Bull. Geol. Inst. Upsala, Vol. X, 1910, S. 269ff. (Heclahook-Formation.)

3) Näheres bei DAVID, T. W. E., Conditions of climate etc., a. a. O. S. 463—465.

Oberkreide am ungezwungensten erklären, an deren glazialer Herkunft Gregory festgehalten wissen will[1]).

Möglicherweise gab es innerhalb des hier natürlich summarisch behandelten Kreideklimas einige Schwankungen. So fällt es nach Douvillé auf[2]), daß im Albien plötzlich die Rudisten fehlen, eine Erscheinung, die sich nach Haug's Zusammenstellungen[3]) auch im Hauterivien wiederholt und die jener auf Wärmeschwankungen zurückführt.

Abgesehen von den oben aufgezählten tiergeographischen Differenzen, die uns eine recht ausgesprochene Klimazonenbildung verraten, zerfallen die einzelnen Gürtel noch in mehrere, zum Teil ebenfalls recht deutlich abgrenzbare Unterprovinzen, wie das ja auch in der Jetztzeit der Fall ist und wie es stets zu erwarten ist, wenn klimatische Gegensätze auf der Erde auftreten. Denn dann muß sich ein sehr entwickeltes System von Meeresströmungen einstellen, das in Zeiten weitgehender klimatischer Ausgeglichenheit fehlt, und ein solches die Erde überziehendes Netz von Strömungen bringt auch scharf gegliederte tiergeographische Subprovinzen mit sich, die ihrerseits natürlich nicht den primär entwickelten Klimazonen homolog verteilt sein können. So erklären sich die aus der Kreide bekannten unterschiedlichen Verteilungen von Rudisten, Tissotien, Seeigeln.

k) Tertiär.

Die Klimagürtel der Kreidezeit lassen sich mit einiger Abschwächung in das Tertiär herüberverfolgen. Wir finden die Nummuliten mit ihrem für Protozoen außerordentlich entwickelten Kalkgerüst, ebenso die Riffkorallen auf den mediterran-äquatorialen Gürtel beschränkt, und nur nach Madagaskar und Neuseeland dringen die Nummuliten, wohl infolge warmer Meeresströmungen, südwärts vor und nordwärts nach England und Grönland wohl aus dem gleichen Grunde. Immerhin scheinen im Eocän die Klimagürtel nicht so schroff abgegrenzt gewesen zu sein, wie zur oberen Kreidezeit, weil der Ausschlag der Faunen nach Norden und Süden größer ist und sich in den einzelnen Faunenprovinzen mehr Übereinstimmung zeigt. Diese Behauptung gilt aber nur mit gewissen Einschränkungen, insofern nämlich innerhalb des Alttertiär gewisse Wellen in der Klimakurve sich bemerkbar machen. Die Untersuchungen hierüber gehen auf Semper zurück[4]). soweit sie die Marinfaunen betreffen. Im Paleocän ist im Pariser Becken eine mediterrane marine Konchylienfauna vorhanden und gleichzeitig weisen die dort vorkommenden Landpflanzen auf ein gemäßigtes bis subtropisches Klima hin. Im eigentlichen Eocän (früher Mittel- und Obereocän) treten mehr tropische Formen unter den Marinkonchylien auf, auch außerordentlich große Kalkbildner, wie das bekannte Cerithium giganteum, die Nummuliten gedeihen üppig und die Landpflanzen sprechen entschiedener für einen tropischen Charakter der Paris-Lon-

1) Gregory, J. W., Climatic variations etc., a. a. O. S. 410.

2) Douvillé, H., Sur une cause de variations des faunes fossiles. Compt. rend. Acad. Sci., Vol. CXXXVI, Paris 1903, S. 212—214.

3) Haug, E., Traité, a. a. O. S. 1169 bzw. 1366.

4) Semper, M., Das paläothermale Problem, speziell die klimatischen Verhältnisse des Eocän in Europa und im Polargebiet. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 48, Berlin 1896, S. 261—349. — Das paläothermale Problem. Ibid. Bd. 51, 1899, S. 185—206.

doner Gegend. Im Obereocän (Bartonien) treten die Nummuliten, was ihre Körpergröße betrifft, wieder bescheidener auf und auch die Landpflanzen scheinen wieder mehr Einschlag von Typen eines gemäßigten Klimas zu zeigen, der sich im Oligocän steigert. Diese geringen Schwankungen des Klimas während der Eocänzeit hat auch Leriche durch einen Vergleich der Fischfaunen bestätigt gefunden[1]); nach ihm weist die litorale Fauna im Paleocän des anglo-französisch-belgischen Beckens auf ein gemäßigteres Klima als die des eigentlichen Eocän. Es scheint allerdings zur Zeit, als ob dieser Wechsel nur lokal ist und damit bloß einem Wechsel von Meeresströmungen entspricht, der nicht klimatisch, sondern eventuell nur durch Verschiebung von Land- und Meeresgrenze irgendwo bedingt ist. Für letzteres spräche der Umstand, daß die Nummuliten an den pazifischen Küsten nirgends so weit nach Norden vordringen, wie in Europa. Hier dürften also warme Strömungen nach Norden gegangen sein, dort kältere Strömungen nach Süden.

Im Oligocän überwiegen in West- und Mitteleuropa wieder arktische Elemente in den Marinfaunen und die wärmeliebenden Nummuliten und ähnliche Typen (Lepidocyclinen, Orthophragminen) verschwinden so gut wie ganz aus unseren Gegenden; die Landpflanzen setzen sich reichlich aus Elementen gemäßigten Klimas zusammen. Der Norden, das Gebiet der Bernsteinflora, würde nach Semper's Zusammenstellungen[2]) als gemäßigt, der Süden aber noch als tropisch zu betrachten sein.

Im Miocän herrschte nach Frech tropisches Klima in Mitteleuropa und mildes gemäßigtes nordwärts bis über den 50° n. Br.[3]). Keineswegs, das ist sicher, waren die Pole vereist, denn auch im Süden, auf den Kerguelen hat sich eine Marinfauna des Neogen gefunden[4]), die umso eher miocänen Alters sein dürfte, als sie Formen enthält, die sich nicht mit heutigen identifizieren lassen. Selbst wenn sie pliocän wäre — was dann gegen eine Vereisung im Pliocän spräche — würde dies erst recht das Freisein von Glazial und Abwesenheit von Drift für das Miocän sicherstellen lassen. Für Nordamerika geben Dall und Harris ein zur Miocänzeit bis zur Hudsonmündung hinauf tropisches Klima auf Grund der Meereskonchylien an[5]).

Die Braunkohlenbildungen, die wir im ganzen Tertiär wiederkehren sehen, sprechen nach Frech für klimatische Zonen mit gemäßigtem, nicht tropischem Klima[6]). Immerhin reichen, wenn wir die prächtige Übersicht der zum kanadischen Geologenkongreß erschienenen „Coal Resources“ zu Rate ziehen[7]), die mittel- bezw. jungtertiären

1) Leriche, M., Contribution à l'études des Poissons fossiles du nord de la France et des régions voisines. Mém. Soc. géol. Nord., Tome V, Lille 1906, S. 409.

2) Semper, M., Das Klimaproblem der Vorzeit. a. a. O. S. 68.

3) Frech, F., Über die Klimaveränderungen der geologischen Vergangenheit, a. a. O. S. 321.

4) Tate, R., On the occurence of marine fossiliferous rocks at Kerguelen Island. Transact. Roy. Soc. South Australia, Vol. XXIV, Adelaide 1900, S. 104 bis 108 (Pl. II, III).

5) Zitiert nach Frech, F., Studien über die Klimate der Vergangenheit, a. a. O. S. 677.

6) Frech, F., Über die Klimaänderungen der geologischen Vergangenheit. Compt. rend. X. Congr. géol. intern. 1906, Fasc. I, Mexiko 1907, S. 300. Die gleiche Anschauung begründete Frech schon 1902 in der Abhandlung: „Studien über die Klimate der Vergangenheit.“ Zeitschr. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1902, S. 675ff.

7) The Coal Resources of the World. Edit. by Mc Innes, Dowling, Leach, Toronto 1913, 3 Vols, 1 Atlas.

Braunkohlenlager durchweg so weit nach Norden, daß auch in der Polarregion gewiß kein kühles Klima, sondern immerhin ein gemäßigt warmes geherrscht haben muß. Das Vordringen der Braunkohlenbildung vom Alttertiär zum Jungtertiär in nördlicher Richtung, das Frech seinerzeit an der zitierten Stelle betonte, beweist jedenfalls, daß sich das Klima auch im Norden mit Beginn des Neogen so verbessert hatte, daß üppiger Pflanzenwuchs gedeihen konnte, der zur Bildung der Braunkohlenlager auch im hohen Norden Anlaß gab. Immerhin ist jetzt in die frühere, auf Heer zurückgehende Auffassung von einem im Miocän bis zum Pol hinauf tropischen oder wenigstens subtropischen Klima Bresche gelegt. Weiter noch geht Eckardt, wenn er schreibt[1]: „Bekanntlich steht die heutige Flora im östlichen Teile der Vereinigten Staaten Nordamerikas der Flora der tertiären Braunkohlenschichten Europas sehr nahe, ja sogar eine der typischen Arten der Tertiärzeit, Taxodium distichum, lebt noch in Nordamerika. Diese Spezies findet sich auf einem an der Grenze der Staaten Virginia und Nordkarolina in 37° n. Br. gelegenen und ein Areal von 5700 qkm bedeckenden Sumpf, welcher ein in Entstehung begriffenes Braunkohlenbecken bildet. Der Sumpfwald enthält außer der bereits genannten Spezies eine größere Anzahl von Gewächsen, welche in Arten auftreten, die verwandtschaftlich den in den Braunkohlenschichten vorkommenden Pflanzen außerordentlich nahestehen. Die ökologischen Verhältnisse des amerikanischen Sumpfwaldes lehren uns aber auch, daß alle Pflanzen infolge des sauren Bodens xerophilen Bau haben, ohne doch, wenigstens im nördlichen Teile dieses Gebietes, durchweg immergrün zu sein. Diese letztere Erscheinung dürfte in der Tat ein wichtiges Argument gegen die Ansicht Heer's bedeuten, insofern als schon dadurch wahrscheinlich ist, daß auch die eocäne Polarflora beträchtlich niedrigere Wintertemperaturen zu ertragen vermochte, als dieser Forscher annahm. Die arktische Tertiärflora deutete also auf ein kalt temperiertes Klima, wo der Winter keineswegs so warm gewesen zu sein brauchte, daß alle für immergrün angesprochenen Bäume das Laub auch für diese Jahreszeit behielten.

Zwar mag ... im Beginn des Tertiärs das Klima Mitteleuropas dem Tropenklima sehr nahe gekommen sein, aber ein rein tropisches war es nicht, und wenn es auch selbst im Miocän noch vielfach wärmer war, wie heutzutage, so gab es doch bereits einen stark ausgeprägten Jahreszeitenwechsel. Das geht vor allem deutlich aus der Tatsache hervor, daß nach den Untersuchungen O. von Schlechtendals an fossilen Blättern der Untermiocänzeit eine auf Frostwirkung zurückzuführende Zerschlissenheit vorkommt ... (vgl. Fig. 72 S. 387). Die fraglichen Blattabdrücke sind also ganz besonders interessant, da aus ihnen „greifbar deutlich“ geschlossen werden kann, daß bereits zur Untermiocänzeit in Mitteleuropa und zwar in der Gegend des Zschipkauer und Senftenberger Braunkohlenreviers, Fröste vorkamen.“ Immerhin herrschte gerade in dem letztgenannten Waldmoor nach Menzel[2]) ein mildes, wenn auch feuchtes Klima.

1) Eckardt, W. R., Das Klimaproblem der geologischen Vergangenheit und historischen Gegenwart, Braunschweig 1909, S. 57—59.

2) Menzel, P., Über die Flora der Senftenberger Braunkohlenablagerungen. Abhandl. Königl. Preuß. Geol. Landesanst. u. Bergakad., N. F. Heft 46, Berlin 1906, S. 149ff.

Digitized by Google

Im allgemeinen ist man also von dem früher etwas sensationell betonten allgemein tropischen Charakter des Paläologen und Miocän bis angeblich hinauf in die höchsten Breiten zurückgekommen, erkennt jetzt Klimazonen an und nur das eine bleibt aufrechterhalten, daß die Polargebiete bis zum Beginn des Pliocän nicht vereist waren. Abgesehen von kleinen Schwankungen im Paleocän, und vielleicht im Oligocän hielt sich aber das Tertiärklima bis an's Ende des Miocän auch in hochnordischen Regionen immer noch auf einer für Laubbäume erträglichen Höhe, wenn auch im ganzen ein langsames Absinken der Kurve gegen das Diluvium erkennbar ist. „Durchaus parallel verlief die Entwicklung in Nordamerika: im Alttertiär tropisch, im jüngeren Miocän warm gemäßigt, im Oliogocän kühler; immerhin aber herrschten in den mittleren Vereinigten Staaten Nebraska, Colorado, Utah u. a. Zustände wie jetzt in den Südstaaten[1]).

Ein besonderes Gesicht bekommt dieses Arrangement der tertiären Klimazustände durch die Stellung der von Nathorst untersuchten japanischen Tertiärflora. Er hat gefunden[2]), daß die Floren, welche eine relativ große Temperaturerhöhung in vorpliocäner Zeit andeuten auf der zu Japan und Sachalin entgegengesetzten Seite des Poles liegen (Grönland, Spitzbergen), so daß er, einem Gedankengang Neumayr's folgend, eine vorpliocäne Lage des Poles im nördlichen Asien etwas unter 70° n. Br. und 120° ö. L. annimmt. So würden alle Floren, welche immergrüne Bäume enthielten, außerhalb des Polarkreises zu liegen kommen. Auch die von Neumayr schon erwähnte Tatsache, daß die alttertiären und miocänen Mollusken Chiles unter etwa 35° n. Br. keine Formen enthalten, welche auf ein wärmeres Klima als das heutige zu schließen erlaubten, steht nach Nathorst vollständig im Einklang mit der oben angenommenen Pollage, durch welche der Südpol auf dem 60° w. L. um 20 Breitegrade Chile näher gerückt würde, so daß die Fundstelle der erwähnten Mollusken unter einer tertiären Breite von 53° s. Br. gelegen hätte.

Die ursprünglich von Heer für die Polarländer aus dem Florenbestand berechneten Temperaturen waren zu hoch, denn teilweise beruhten sie auf falschen Bestimmungen, teilweise haben sich, wie vorhin unter Zitierung von Eckardt berichtet wurde, auch die Anschauungen über die biologischen Verhältnisse der tertiären Braunkohlenflora wesentlich geändert, abgesehen davon, daß auch der autochthone Charakter der neusibirischen Braunkohlen bestritten wird, die aus Schwemmholz südlicherer Herkunft entstanden und keine Baumwurzeln, sondern nur solche von niederem Gesträuch enthalten sollen, wie es noch jetzt dort vorkommen könne[3]).

So können wir unser Urteil über das Klima des Tertiärs dahin zusammenfassen, daß es sich nach der Kreide unter Vermittelung des Paleocäns wieder im eigentlichen Eocän sehr verbessert hatte; und wenn auch eine deutliche Zonenbildung bestehen blieb, so war doch in der Polarregion das Klima nicht so extrem, wie zur Kreidezeit. Abgesehen von untergeordneten Schwankuugen, die vielleicht mehr regionaler als universeller Art waren, sinkt im Neogen die Klimakurve, so daß das

1) Semper, M., Das Klimaproblem der Vorzeit, a. a. O. S. 65. Dortselbst Literaturangaben hierfür.
2) Nathorst, A. G., Zur fossilen Flora Japans. Paläontol. Abhandl. von Dames u. Kayser, Bd. IV, Berlin 1888, S. 48ff.
3) Semper, M., Das Klimaproblem der Vorzeit, a. a. O., S. 69.

Digitized by Google

früher auch für die Polarregion als subtropisch angenommene Miocän dort höchstens ein gemäßigtes, keineswegs von Winterfrösten verschontes Klima besaß, ja solche auch in unseren Breiten nicht fehlten. Im Pliocän dürften sich dann um die Pole selbst schon Eiskappen gebildet haben, deren Entstehung intensiv kaltes Wasser nach Süden herabströmen ließ. Bekannt ist die schrittweise Verdrängung der noch an etwas wärmeres Wasser gewöhnten pliocänen Marinkonchylien im südenglischen Crag. Sie sollen sich teilweise in das Mediterrangebiet ausgebreitet haben (z. B. Cyprina islandica), und das soll auch für jene Gegenden die Abkühlung beweisen; nur widerspricht dem das gleichzeitige Vorkommen anderer mediterraner Typen, die ja auch von der Abkühlung hätten betroffen werden müssen[2]). Wenn wir im Mediterrangebiete auch im Jungpliocän Elephas. Hippopotamus, Rhinoceros antreffen, so macht diese Landfauna immer noch einen recht subtropischen Eindruck, so daß die Abkühlung im Pliocän an den Polen relativ am intensivsten eingesetzt haben muß. Mit dem Ende des Pliocän waren sicher auch unsere Alpen schon vergletschert. Denn wenn wir im oberbayerischen Deckenschotter, den wir doch mit Recht als das älteste Diluvium ansehen, schon krystalline zentralalpine Gesteine finden, dann muß schon mit Beginn dieser Ablagerung das Alpeninnere einen so starken Eismantel getragen haben, daß unmittelbar in nördlicher Richtung solches Material herausgeschafft und am Alpenrande mindestens fluviatil, wenn nicht auch in Form von Moränen, abgesetzt werden konnte.

l) Zusammenfassung.

Es sei nochmals betont, daß die im vorigen Abschnitt entwickelten Anschauungen über den Charakter des vorweltlichen Klimas vom Algonkium bis zum Diluvium zum Teil auf höchst problematischen Kombinationen beruhen und mit der Zeit im einzelnen sicher starken Modifikationen sich noch werden unterwerfen müssen. Es wäre ganz töricht, in diesen Ausführungen mehr sehen zu wollen, als den schwachen Versuch eines gewissen Überblickes über den Verlauf der Klimaschwankungen im Großen und Ganzen — eines Überblickes, der allerdings nur gewonnen werden kann, wenn man immer wieder von neuem die bisher bekannten Tatsachen zusammenzustellen versucht und diese Zusammenstellung der Kritik und Diskussion unterstellt. Noch ist unser Wissen von den Klimaverhältnissen der Vorzeit viel zu gering; das wird besonders klar, wenn man sich allein die Zeitenlänge der einzelnen Epochen vergegenwärtigt und daran die Menge des Wissens mißt. Über das Tertiär und Quartär sind wir verhältnismäßig gut unterrichtet und an den Hauptlinien unserer Skizze von dem känozoischen Klimawechsel wird sich nicht allzuviel mehr ändern; trotzdem ist mit Bestimmtheit noch eine außerordentliche Menge von neuem Detail zu erwarten. Ich erinnere nur an das noch heiß umstrittene Problem der Eiszeitphasen, an die Frage nach dem Klimawechsel in postglazialer Zeit, an die Möglichkeit kleinerer Klimaschwankungen im Tertiär, die doch naturgemäß vorhanden ge-

2) Wepfer, E., Über das Vorkommen von „Cyprina islandica" im Postpliocän von Palermo. Centralbl. f. Mineral. etc., Stuttgart 1913, S. 173—177. Neuerdings hält aber Gignoux, M. (Les formations marines pliocènes et quarternaires de l'Italie du Sud et de la Sicilie, Lyon 1913) wieder an dem Vorkommen vieler nordischer Formen dort fest.

wesen sein müssen, uns aber bis jetzt noch eine terra incognita sind. Was ist nun das Quartär oder Tertiär inbezug auf seine Zeitdauer gegenüber Epochen, wie dem Kambrium, dem Silur, dem Mesozoikum! Wenn unser Wissen über das Tertiärklima nur eine aus wenigen groben Strichen bestehende Skizze ist, um wieviel mehr sind wir von einer auch nur annähernd so vollständigen Darstellung des Klimas jener ältesten längeren Zeiten noch entfernt.

Es könnte angesichts dessen für überflüssig erklärt werden, überhaupt die vorweltliche Klimafrage heute schon einer Diskussion zu unterstellen. Aber abgesehen davon, daß es ja gerade ein Mittel des Wissensfortschrittes ist, das Unfertige zu behandeln — und welches Wissensgebiet ist denn überhaupt jemals „fertig" — ist das Problem des Klimawechsels in der Vorzeit ja eigentlich gar kein Problem mehr, sondern eine Tatsache, die niemand leugnet. Und da sie als solche besteht, ist es auch nicht zu umgeben, die Frage nach der oder den Ursachen dieses Wechsels in Angriff zu nehmen, mag man in diesem Punkte bisher auch noch so wenig Positives wissen.

5. Die vorweltliche Klimakurve.

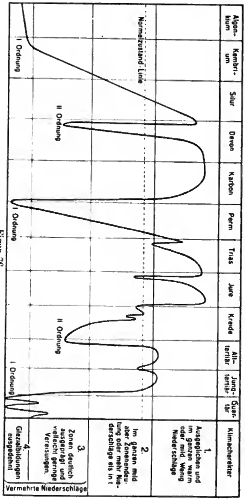
Um einen Überblick zu haben und Vergleichspunkte zu gewinnen, habe ich auf Grund der im vorigen Abschnitt vertretenen Anschauungen über das Klima in den einzelnen Zeitaltern nachstehende Kurve (Fig. 76) entworfen, deren Sinn aus den beigeschriebenen Rubriken ohne weiteres verständlich wird.

Von „Klima" können wir natürlich nur auf dem Lande sprechen, denn meteorologische Vorgänge können sich im Meere nie abspielen; höchstens im flachsten ruhigen Küstenwasser können die terrestren klimatisch-meteorologischen Ereignisse sich als solche unmittelbar noch den Bewohnern fühlbar machen (z. B. als zeitweise lokale Aussüßung des Wassers); im übrigen aber kann man im Meere nur von Temperaturunterschieden reden, und daher kommt es auch, daß klimatische Zustände der Vorwelt streng genommen nicht aus den Marinfaunen unmittelbar erschlossen werden können. Dadurch ergeben sich für unsere Kurve Ungereimtheiten. Denn im einen Falle finden wir z. B. starke Differenzierung in der Verteilung der Marinfaunen und tragen dies auf der Rubrik 3 ein. In einer anderen Zeit, wo wir uns nicht auf die Marinfaunen, sondern auf terrestre Verhältnisse für die Ermittlung des Klimas beschränken müssen, ergeben sich ganz andere Momente, wie z. B. die Stärke der Niederschläge. Andrerseits weiß man ja z. B. noch gar nicht, ob nicht Eiszeiten Perioden sehr ausgeglichenen, wenngleich durchschnittlich kühleren Klimas waren. Waren sie z. B. Zeiten reichlichen Wasserdampfes in der Atmosphäre, so könnte dies zutreffen. Man sieht also, daß die Kurve höchst hypothetisch ist und nur einen vorübergehenden heuristischen Wert bestenfalls haben kann. Sie ist auf einer uneinheitlichen Basis erbaut und kann nicht als eindeutiges, in ihren Einzelzügen gleichwertiges Abbild der vorweltlichen Klimaschwankungen angesehen werden. Daher rühren auch Widersprüche, wie der, daß die starken Niederschlagsverhältnisse in der unteren Trias einen ganz anderen Ausdruck finden, wie die ganz ähnlichen im Unterperm. Die Abkühlung im Lias hatte wenig Niederschläge als Begleiterscheinung und ganz geringe zonare Temperaturdifferenzen; trotzdem mußte die Kurve nach Rubrik 2 hereingezogen

Digitized by Google

werden, um durch die Annäherung an Ruhrik 3 die niedrigere Durchschnittstemperatur zu veranschaulichen. Das alles ist hei der Beurteilung des relativen Wertes der Kurve und bei ihrer etwaigen Benützung und Kritik zu heachten.

Naturgemäß zeigt die Kurve in den laugen paläozoischen Zeiten weniger Abwechselung als in den mesozoischen und känozoischen, was wohl nieht auf Rechnung eines weniger wechselnden Klimas, sondern jedenfalls einer weniger ausgedehnten Kenntnis zu setzen ist. Durch die etwas größere räumliche Ausdehnung der paläozoischen Ruhriken ist der größeren Zeitdauer andeutungsweise Rechnung getragen. Ich hemerke nochmals, um Mißdeutungen vorzubeugen, daß die Ausdrücke „ausgeglichenes Klima", „Zonenbildung" etc. nicht heißen sollen, daß im einen Falle solare Klimazonen fehlen, im anderen vorhanden sind, sondern nur, daß im ersteren Falle die solaren Zonen einen im Vergleich zum heutigen Klima hohen Grad der Ausgleichung praktisch erreicht hatten, im letzteren nicht. Daß überhaupt solchen Darstellungen viel Subjektives anhaftet, hraucht nur für die erwähnt zu werden, welche noch nicht in die Schwierigkeit des Problems eingedrungen sind. Ferner sei bemerkt, daß das für Paläozoikum und Mesozoikum angewendete Einteilungsschema für das Tertiär, hesonders für das Alttertiär, nichtmehr ganz geeignet ist. Dem wurde etwas Rechnung getragen durch Tieferlegen der Kurve in Rubrik 1. Denn im ganzen Tertiär können wir deutlich Klimagürtel nachweisen,



Figur 76.

und trotzdem herrschte bis in's Spättertiär in der Polarregion im Vergleich zu den heutigen Verhältnissen ein mildes Klima.

Daß wir das Klima der Vorzeit als kontinnierlich verlaufende Kurve darstellen, dazu haben wir folgenden Anlaß. So wenig wir nämlich auch über die Einzelheiten des Ablaufes unterrichtet sind, so finden wir doch jetzt schon von Stnfe zu Stufe, von Zeitalter zu Zeitalter niemals unvermittelte Gegensätze, sondern immer gelingt es uns, Andeutungen eines Überganges dieser Gegensätze nachzuweisen. Die Eiszeit des Algonkiums und Unterkambriums wird nicht unmittelbar von der Üppigkeit des kalkreichen Silur abgelöst, sondern das ganze Kambrium zeigt uns die Vorbereitung zu dieser klimatisch so günstigen Zeit. Auch auf die jungpaläozoische Eiszeit folgt nicht unmittelbar das heiße ausgeglichene Klima von Trias und Jura, sondern eine vermittelnde niederschlagsreiche Zeit und Klimadifferenzen, die weniger extrem sind als zur karbon-permischen Eiszeit, aber doch deutlicher als zur Trias-Jurazeit hervortreten. Vollends das Jungtertiär zeigt anerkanntermaßen das kontinuierliche, wenn auch im einzelnen durch Schwankungen belebte Herabsinken der Kurve zur diluvialen Eiszeit hin. Auch die scharfe Klimazonenbildung und wohl auch die nördliche starke Abkühlung der Oberkreidezeit geht erst durch Vermittlung des Paleocän in das etwas ausgeglichene Klima des Eocän über.

Analysieren wir die Kurve, dann bemerken wir in ihr einen gewissen Rhythmus, dessen Intervallen, wohl aus dem vorhin angegebenen Grunde nicht gleich lang sind, der aber dennoch als solcher hervortritt. Durch drei Hauptereignisse I. Ordnnng wird eine Haupteinteilung möglich: durch die algonkiseh-unterkambrische, die spätpaläozoische und die quartäre Eiszeit. Freilich wissen wir nieht, ob das algonkische weitverbreitete Eis der Nordhemisphäre im unterkambrischen Chinas und Australiens seinen unmittelbaren Erben findet. Es könnte auch zwischen beiden ein so langes Intervall liegen, daß der Rhythmus sich im ganzen vielfach wiederholt; das können wir noch nicht entscheiden und wir nehmen vorerst nur drei extremste Ausschläge der Kurve an. Die zwischen ihnen liegenden Perioden mit günstigeren, ausgeglicheneren Klimaverhältnissen sind wiederum von je einem größeren Ausschlag II. Ordnung unterbrochen, die aber nicht bis zu dem Extrem einer Eiszeit führen. Der eine Ausschlag liegt unmittelbar nach dem Silur im Devon, der andere in der oberen Kreide und an der Grenze zum Tertiär. Bis hierher ist der Rhythmus fast vollkommen.

Suchen wir nach größeren Feinheiten der Kurve, dann fällt uns deren Mangel im Paläozoikum auf, während sie im Meso- und Känozoikum reiehlieher vorhanden sind. Das kommt von der mit zunehmender zeitlicher Entfernung waehsenden Schwierigkeit einer Feststellung untergeordneter Klimaschwankungen. Die kleinen Unregelmäßigkeiten der Kurve in der Untertrias und in der Unterkreide, sowie im Oligocän, sind aus den entspreehenden Bemerkungen im Abschnitt 4 ohne weiteres verständlieh. Der kleine rückläufige Ausschlag am Ende, im Quartär, soll die Klimawelle seit dem Eiszeitalter andeuten. Von einer Darstellung der Eiszeitphasen mußte abgesehen werden, um nicht diese zeitlich begrenzten Sehwankungen gegenüber den früheren allgemeinen und gewiß außerordentlich viel größere Zeiträume umfassenden Ausschlägen allzusehr hervortreten zu lassen. Die Phasen der Postdiluvialzeit werden aus dem gleichen Grunde nur durch einen einzigen rückläufigen Ausschlag angedeutet.

Bei Betrachtung der Kurve zeigt sich weiter, daß den extremen Klimaverschlechterungen relativ geringe Zeiträume zukommen, ebenso den weniger extremen am Beginn des Devon und gegen Ende der Kreidezeit. Das Mittel des Gesamtklimazustandes liegt ganz entschieden in der oberen Hälfte, also stark nach der Seite des günstigen und ausgeglichenen Klimas, so daß die Verschlechterungen I. und II. Ordnung wie akzidentelle, den Normalzustand nur unterbrechende Ereignisse erscheinen. Da sie im extremsten Falle zu Eiszeiten führen, so konzentriert sich damit die Klimafrage zunächst einmal auf die Frage: Wie entstehen oder was sind Eiszeiten?

6. Der Begriff „Eiszeit".

Es handelt sich hier noch nicht um die Beantwortung der Frage nach den tieferliegenden letzten Ursachen, aus denen überhaupt die ganze klimatische Lage, unter der das Eiszeitphänomen erscheint, entspringt. Vielmehr werden wir hier zunächst die im engsten Zusammenhange miteinander stehenden und methodisch gar nicht zu trennenden Unterfragen zu behandeln haben: Wie dokumentiert sich äußerlich eine „Eiszeit"? Unter welchen äußeren meteorologischen Bedingungen kommt sie zustande? und: Inwieweit sind die (diluvialen) Vereisungen der einzelnen Regionen gleichzeitig? Diese drei Unterfragen wollen beantwortet sein, ehe wir über die Ursachen der Eiszeiten bezw. der großen vorweltlichen Klimaausschläge urteilen können.

Ihrer äußeren Erscheinung nach ist eine Eiszeit ja verhältnismäßig leicht zu definieren: Ausgedehnte Flächen werden von großen Gletschern und Inlandeismassen bedeckt. Die Definition würde auf die heutige Zeit noch ebenso passen, wie auf die Diluvialzeit, wie ein Blick auf die am Ende des Buches beigegebene Karte zeigt. Die Arktis und die Antarktis sind noch völlig vereist, in Grönland und Nordamerika reicht das Eis sogar noch etwas in die gemäßigte Zone herein, ganz abgesehen von den heute noch bestehenden Hochgebirgsvergletscherungen der ganzen Erde. Von allen diesen Eisbedeckungen nehmen wir an, daß sie Reste der einst ausgedehnten diluvialen Bedeckung sind. Daraus könnte man entnehmen, daß wir uns, äußerlich betrachtet, heute noch „in der Eiszeit" befinden, wenn auch in ihrer absteigenden Phase.

Ganz anders sieht die Sache jedoch aus, wenn wir uns um eine genetische Definition des Begriffes „Eiszeit" bemühen. Es läßt sich sehr gut denken, daß die Ursachen zu einer Eiszeiterscheinung gegeben sind, wirksam werden und zu einer Eisbedeckung in größerem Ausmaß führen, dann aber verschwinden, und daß trotzdem noch sehr lange die Eisbedeckung anhält, auch in eine Zeit hinein, wo schon längst die allgemeinen Bedingungen für einen eislosen Zustand der Erdoberfläche vorhanden sind. Denn ist einmal eine ausgedehnte Eisbedeckung da, dann wirkt sie, wie es uns Grönland zeigt, stark absorbierend auf die Wärmestrahlen, so daß in ihrer Nähe immer noch eine gewisse Abkühlung bestehen bleibt, und zwar größer, als es der Bestrahlung auf den betreffenden Flächenraum, wenn er eisfrei wäre, entspricht. Dann befände man sich, dem äußeren Augenscheine nach, auch noch in einer „Eiszeit", dem Wesen der Sache nach aber nichtmehr, denn die bewirkende Ursache wäre ja längst weggefallen. Die Abschmelzung der noch vorhandenen Eismassen bedarf eben ungeheuer langer Zeiträume, wenn die Eisdecken einigermaßen dick waren. Immerhin wird sich ein Aufhören der eiszeitbewirkenden Ursachen auch wenigstens in

einem langsamen Rückzuge der Gletscher und Inlandeisdecken äußern müssen — eine für die Jetztzeit charakteristische Erscheinung. Von diesem Standpunkte aus betrachtet, müssen wir entschieden verneinen, daß wir uns jetzt noch in der „Eiszeit" befinden.

Aber immer ist damit die Frage noch nicht erschöpft. Wir wissen ja, daß die Eiszeit Phasen hatte, Interglazialzeiten vorhanden waren, von denen im alpinen Gebiete allermindestens eine jetzt über allen Zweifel erhaben ist[1]). Es ist für unsere Betrachtung hier ganz einerlei, wieviele solcher Phasen unterscheidbar sind und ob die norddeutschen an Zahl den alpinen entsprechen, was von vorneherein unwahrscheinlich ist, da selbst bei gleicher Ursachenlage eine Inlandeismasse sich anders verhalten muß, als eine alpine Gletscherbedeckung mit ihren ganz andersartigen Farn- und Gefällverhältnissen. Also jene Interglazialphasen existierten mindestens in Einzahl, und wenn wir in den ihnen entsprechenden interglazialen Ablagerungen Reste von Pflanzen finden, die heute nach dem fast völligen Rückgange der alpinen Vergletscherung an denselben Stellen wegen zu geringer Durchschnittstemperatur nicht oder noch nicht wieder zu gedeihen vermögen, dann zeigt uns das, um wieviel wärmer jene mitten in der Eiszeit liegende Interglazialphase war, als unsere heutige Zeit. Es läßt uns diese Betrachtung abermals erwägen, ob wir nicht doch noch mitten in der Eiszeit leben?

Zur Unterstützung dieser Möglichkeit kommt anscheinend hinzu, daß jetzt das Klima offenbar nicht nur ungünstiger ist, als in jener Interglazialphase, sondern daß wir derzeit auch in einem ungünstigeren Klima leben, als es unmittelbar nach der letzten großen Eiszeit herrschte. Als Vorbereitung zu dem Stockholmer Geologenkongreß ist diese wichtige, auch schon früher vielfach behandelte Frage von den verschiedensten Seiten systematisch bearbeitet worden, und die Antwort ist fast durchgehends dahin ausgefallen, daß im atlantischen Randgebiete in postglazialer Zeit ein Wärmeoptimum existiert hat)[2]; und zwar scheint der Wärmeüberschuß im Vergleich mit der Jetztzeit umso größer zu sein, je weiter man nach Norden, um so geringer, je weiter man nach Süden geht. Unterdessen ist die Untersuchung auch auf Rußland und Zentralasien ausgedehnt und mit den Verhältnissen anderer Gegenden verglichen worden[3]). Sie hat u. a. zu dem Resultat geführt, daß der gegenwärtigen Epoche eine solche mit trockenerem und wärmerem Klima voranging. Über die südlichen Länder sind wir noch zu wenig unterrichtet, aber ähnliche Zustände sind auch dort wahrscheinlich. Trotz-

1) Ampferer, O., Über die Aufschließung der Liegendmoräne unter der Höttinger Breccie im östlichen Weiherburggraben bei Innsbruck. Zeitschr. f. Gletscherkunde, Bd. VIII, Berlin 1914, S. 145—159.

2) Vgl. die Zusammenfassung von Andersson, G., Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit. Compt. rend. XI. Congr. géol. intern. 1910, Fasc. I, Stockholm 1912, S. 371—377. Dortselbst weitere Literaturhinweise. Die älteren Untersuchungen sind zusammenfassend dargestellt in Supan, A., Grundzüge der physischen Erdkunde, 5. Aufl., Leipzig 1911, S. 251 ff. Vgl. auch: Hayek, A., Die postglazialen Klimaschwankungen in den Ostalpen vom botanischen Standpunkte. Mitteil. d. Sekt. f. Erdkunde d. Österr. Touristenklubs, Jahrg. 24, Wien 1912, S. 9—11, woselbst vom pflanzengeographischen Gesichtspunkte aus nachgewiesen wird, daß wenigstens eine Wärmeperiode zwischen die letzte Eiszeit und die Jetztzeit fällt, in der in den Tälern der Ostalpen wärmere trockenere Sommer und niederschlagsreichere Übergangszeiten herrschten.

3) Berg, L. S., Über die Klimaänderungen während der historischen Epoche. „Erdkunde", Moskau 1911, S. 23—120. Nur Russisch. Nach einem Referat von P. Tutkowski im Geol. Zentralbl., Bd. XVII, Berlin 1911/12, S. 638/639.

dem ist diese große, über viele Jahrtausende sich erstreckende Klimaschwankung der postglazialen Quartärzeit nicht eine Interglazialphase gewesen, nach der wir uns jetzt einer neuen Vereisung zubewegen. Denn auch heutzutage bei der anerkannten Verschlechterung des Klimas und dem Verschwinden der günstigeren postglazialen Wärmeperiode sind dennoch anhaltend die Eismassen auf der Erde im ganzen in Rückzug begriffen. Wäre die postglaziale Wärmezeit nur eine Interglazialzeit gewesen, so hätte seit ihrem Abflauen wieder ein Vordringen des Glazialphänomens bemerkbar werden müssen. Das Gegenteil aber ist der Fall; im ganzen geht das Eis in der Arktis und Antarktis zurück.

Wir sehen also: es gibt bei gleichzeitigem Vorhandensein von Eisbedeckungen, wie sie die Jetztzeit vom Diluvium her noch bietet, großwellige Klimaschwankungen, welche das Eis sozusagen unbeeinflußt lassen. Sein Rückgang ist unabhängig von diesen Schwankungen, konstant verlaufend. Das zeigt uns, daß die Glazialzeiten anderen Klimawellen zugehören als die, welche uns seit der Eiszeit zuerst ein wärmeres, dann wieder ein kühleres Klima beschеert haben. Wenn daher seit dem Höhepunkte der Würmeiszeit die Eismassen im ganzen andauernd zurückgegangen sind, zwar unter dem Einfluß kleiner Klimawellen schwankten, aber nie entscheidend beeinflußt, nie zu einem neuen Eiszeitphänomen wieder ausgedehnt, nie zu einer Interglazialzeit zurückgedämmt wurden, dann stellt sich uns auch der Klimawechsel der Postglazialzeit und seine Rückverlängerung in die Yoldiazeit oder in das Bühlstadium als eine niedere Ordnung von Klimaschwankungen in noch ausgedehnteren größeren Perioden dar, von der wir einen Teil in der linken Hälfte der beistehend aus Penck-Brückner reproduzierten Kurve[1]) sehen (Fig. 77).

Wir können danach aus einer Kombination alles bisher Gesagten entnehmen, daß die großen glazialen und interglazialen Vorstöße Klimawellen höherer Ordnung sind, die wieder in solche niederer Ordnung und in noch kleinere innerhalb der ganzen Glazialwelle zerfallen. Dieses ganze Gebilde gliedert sich dann ein in die auf S. 432 gegebene Hauptkurve, und das zeigt uns in der anschaulichsten Weise die ganze Mobilität der Klimazustände. Interessant in diesem Zusammenhange ist auch der Nachweis einer interglazialen oder — vorsichtiger ausgedrückt — wenigstens einer sehr bedeutenden Rückzugsphase im jungpaläozoischen australischen Glazial, wie das Profil auf S. 362 ausweist.

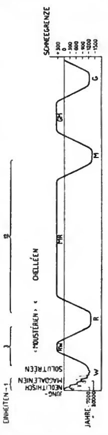
Wir kommen jetzt noch einmal auf unsere vorhin erneut gestellte Frage zurück: Deutet die über mehrere Jahrtausende sich erstreckende Klimaschwankung der Postglazialzeit vielleicht darauf hin, daß wir uns jetzt einer neuen Eiszeitphase zubewegen und momentan nur in einer Interglazialzeit leben?

Wenn wir in's Auge fassen, daß die Gletscher- und Inlandeisbedeckung dauernd seit der Bühlzeit bezw. schon seit dem Ende der eigentlichen Würmeiszeit im ganzen zurückgeht, abgesehen von vereinzelten, lokal zu erklärenden Ausnahmen, wie oben schon betont wurde, dann liegt es nahe, zu folgern, daß wir trotz der ungünstigen derzeitigen Klimalage bereits außerhalb der Eiszeit, also in einer wirklichen Postglazialzeit, nicht nur in einem Interglazial leben. Wenn wir aber andrerseits bedenken, daß die von der Yoldiazeit bis heute verlaufende Kurve,

1) Penck, A. und Brückner, E., Die Alpen im Eiszeitalter, Bd. III, Leipzig 1909, S. 1168.

wie wir vorhin sahen, nur ein Schwanken untergeordneter Art bedeutet, gegenüber der von PENCK gegebenen Diluvialkurve, dann können wir doch wieder nicht mit Sicherheit sagen, ob wir uns nicht in einer Interglazialphase befinden, wenn auch vielleicht erst noch in deren frühester Phase. Denn es ist möglich, daß auch Interglazialzeiten wärmere und kühlere Schwankungen in sich bergen.

Daraus ergibt sich, daß eine Entscheidung jener Frage nicht zu bekommen ist aus der äußeren Betrachtung des Eiszeit- und Quartärklimaverlaufes. Nur wenn wir die Ursache bezw. den eine Eiszeit veranlassenden Ursachenkomplex kennen würden, wären wir auch in der Lage anzugeben, ob er heute noch fortbesteht, und würden daraus erst entscheiden können, ob wir uns noch in einer Eiszeit befinden. Es sei gleich von vorneherein festgestellt, daß wir über die Ursachen der Eiszeiten zwar eine sehr große Anzahl von Theorien haben, die sich aber samt und sonders noch nicht über das Niveau von Erklärungs*versuchen* erheben. Ehe auf diese eingegangen wird, wollen wir uns über den *klimatischen Charakter einer Eiszeit* Klarheit zu verschaffen suchen.



Figur 77.

LAMANSKY hat jüngst folgenden Gedankengang entwickelt[1]).

An vielen Stellen der Erde finden sich absterbende Reste einst sehr beträchtlicher Eismassen. Aus solchen besteht u. a. der Boden Ostsibiriens und der Neusibirischen Inseln. Jenes Steineis ist aus Schnee entstanden, denn es hat die Struktur von Firneis. Auf den Neusibirischen Inseln liegen zwei Eishorizonte, getrennt durch Schichten mit Pflanzen- und Tierresten; auf dem ostsibirischen Festlande scheint nur der untere Eishorizont vorhanden zu sein. Unter dem Eis ist eine präglaziale Pflanzenschicht gefunden mit Formen, deren nächste Verwandte jetzt in Kalifornien und Japan leben. Die Einlagerung des Bodeneises zwischen Quartärschichten deutet an, daß wir es hier mit einem Eis zu tun haben, das sich, wenn auch nicht genau gleichzeitig, so doch wohl unter dem Einfluß der gleichen Ursachen gebildet hat, wie die nordeuropäische und alpine Vereisung. Heutzutage hat Nordostsibirien nur geringe Niederschlagsmengen und, abgesehen von geringen perennierenden Schneeflecken, weder in den Gebirgen noch in den Ebenen Schneelager, die sich etwa im Laufe der Zeit in Eismassen umwandeln könnten. Wenn unter diesen jetztzeitlichen Bedingungen dort fossiles Eis gefunden wird, so folgt daraus, daß die

1) LAMANSKY, W. W., Das Absterben der Gletscher und die Eiszeit. Zeitschrift f. Gletscherkunde, Bd. VIII, Berlin 1914, S. 175—194.

klimatischen Bedingungen früher dort andere waren; die Periode der Eisansammlung in jener Gegend war deren „Eiszeit“.

Nach Ansicht der modernen Glazialgeologie kam der Stillstand bezw. das Abschmelzen der Vereisung durch eine Besserung des Klimas, durch ein Steigen der Temperatur zustande. Ist diese Vorstellung auf die beschriebene Gegend anwendbar?

Die zwischen den Eishorizonten und in ihrem Hangenden auftretenden Pflanzen kommen heute in dieser Gegend nichtmehr vor, sondern erst einige Breitengrade südlicher. Es hat somit hier keine Klimaverbesserung seit der „Eiszeit“ stattgefunden, sondern, wie oben erwähnt, nur eine Abnahme der Niederschläge, und nur diese kann demnach die Eisansammlung zum Stillstande gebracht haben. Heute herrscht hier die antizyklonale Wetterlage vor und erzeugt in dieser Gegend einen Kältepol. Dabei sind die Niederschläge so gering, daß die Ablation ohne weiteres sie aufzehrt. Dagegen hat sich die Ablation machtlos erwiesen gegen die noch aus früheren Zeiten bestehenden Eisanhäufungen. Um diese zu schaffen, müssen früher somit stärkere Niederschläge, Schneefälle geherrscht haben, es müssen Zyklone diese veranlaßt haben, und die ehemalige Periode der Eisanhäufung, die „Eiszeit“ muß sich demnach durch mildere Winter, als sie heute dort herrschen, ausgezeichnet haben. So ist also das heutige Klima dort eine spätere Erscheinung und an die Stelle eines milderen und schneereicheren Winterklimas getreten. Genau dasselbe ist in Alaska der Fall. Die dort ebenfalls weitverbreiteten fossilen Eislager sind vollkommene Analoga zu den sibirischen; und da auch Alaska heute außerordentlich niederschlagsarm ist, so müssen auch diese Eislager zu einer niederschlagsreicheren Zeit entstanden, das Klima Alaskas also seit jener Zeit analogerweise kontinentaler geworden sein.

Als einen noch schlagenderen Beweis für das Eintreten einer nachdiluvialen Trockenheit in Sibirien sieht Lamansky den ewig gefrorenen Boden an. Der Erdboden gefriert in umso geringere Tiefen hinunter, je mächtiger die ihn überlagernde Schneedecke ist, und unter Gletschern scheint es überhaupt keinen gefrorenen Boden zu geben. Fehlt dagegen der Schnee, so kann der Boden je nachdem bis in beträchtliche Tiefen hinab gefrieren. Die Bildung des ewig gefrorenen Bodens Sibiriens, der sich als solcher in einer gewissen Tiefe unter der sommerlichen Erdoberfläche einstellt, ist daher nicht als eine aus der Eiszeit überkommene Erscheinung zu betrachten, wie man das meistens annimmt, sondern er ist späterer Entstehung. Denn die Eiszeit war ja eine Zeit starken Schneefalles, und erst als die schneeigen Niederschläge abnahmen und Hand in Hand damit die antizyklonale Wetterlage mit den klaren Winternächten und der Ausstrahlung des Bodens dabei sich einstellte, konnte dieser in so großen Tiefen gefrieren, daß ihn auch die Sommer nichtmehr ganz aufzutauen vermögen. Lamansky hält daher das Phänomen des ewig gefrorenen Bodens nicht für einen Rest der Eiszeiterscheinung, sondern für eine den Gebieten des polaren und subpolaren Klimas eigene Art der Austrocknung.

In der Jetztzeit haben wir ein Analogon für den seit dem Diluvium in Sibirien vor sich gegangenen Austrocknungsprozeß. Das allseitig von Gebirgen umschlossene Innere Daghestans ist sehr trocken. Im Winter gibt es wenig Schnee, besonders im Vergleich zum Südabhange des Kaukasus. Die früher dort viel weiter verbreitete Waldflora stirbt nun aus im Kampfe mit den xerophilen Elementen der Gebirgs- und

Digitized by Google

Steppenflora — die Gegend erlebt den Prozeß des Austrocknens. Auch die Gletscher haben sich alle zurückgezogen und in der Gebirgsgruppe Bazar-Djusy liegt ein toter Gletscher mit vertrocknetem Firnfeld. Die Abnahme der schneeigen Niederschläge in Daghestan ist also so bedeutend und entschieden, daß sogar die in dieser Gegend infolge der Sonnenwärme sehr wirksame Ablation von jener Verminderung der Niederschläge in ihrer Wirkung übertroffen wird. Die Abnahme der Niederschläge, im übrigen unterstützt durch die Verdunstung, hat in diesem Falle das Firnfeld noch vor dem übrigen Gletscherkörper zum Verschwinden gebracht.

In der Antarktis ferner befinden sich die Eismassen im Rückzuge, die Oberfläche des dortigen Inlandeises lag früher 400—500 m höher. Auch tote, isolierte Gletschermassen finden sich dort. Aus deren Auftreten kann man also auf ein Trocknerwerden des Klimas seit dem Diluvium schließen. Das ganze Jahr über herrscht ohnedies in der Antarktis antizyklonales Wetter, wobei starke trockne Winde von der Gletscherkappe des Poles nach allen Seiten abfließen. Schnee fällt außerordentlich wenig, und das, was fällt, wird entweder vom Wind zur Meeresküste verweht, oder es verdunstet. Erst über dem Meere beladen sich die Winde mit Feuchtigkeit und verursachen dann auf den nördlich der Antarktis gelegenen Inseln Niederschläge, wodurch nun ein energisches Anwachsen der Gletscher erfolgt. Darum ist seinerzeit die Gletscherbedeckung der Antarktis offenbar unter ganz anderen klimatischen Bedingungen zustande gekommen, als sie heute dort herrschen; es muß damals die Druckverteilung und Windrichtung so gewesen sein, daß reichliche Niederschläge fielen, und im Zusammenhange damit war das Klima nicht so rauh und trocken wie jetzt. Als aber die zusammenhängende Eisbedeckung und eine davon ausgehende Abkühlung dieser Regionen einmal da war, bewirkte diese ein Vorherrschen von Antizyklonen, eine Änderung der Windverhältnisse, die nun ihrerseits trockenes Klima erzeugten, auf diese Weise das weitere Anwachsen der Eismassen verhinderten und alsbald ihre Abschmelzung einleiteten. Da indessen die niedrigen Temperaturen ein Tauen fast ausschlossen, so muß die Verdunstung beim Rückzug die Hauptrolle gespielt haben.

Eine außerordentliche Entwicklung der Gletscher- und Eismassen ruft demnach eine Luftdruckverteilung hervor, die ihrerseits wieder die Bedingungen zum Rückzuge und zur Vernichtung der Eismassen schafft; oder das Feuchterwerden des Klimas schafft ein Wachstum der Eismassen und damit selbst wieder die Bedingungen zu einer erneuten Austrocknung des Klimas.

Lamansky kommt zu dem Schluß, daß bei der Abnahme und dem Verschwinden der diluvialen Inlandeismassen nicht die Wärme die Hauptursache war, sondern die Verminderung des schneeigen Niederschlages unter dem Einfluß der Entwicklung eines Wettertypus, dem entgegengesetzt, bei dem die Anhäufung des Schnees und die Bildung der Gletscher bezw. Inlandeismassen vor sich gegangen war. Diese Vermehrung der schneeigen Niederschläge ist nicht unter einer allgemeinen Abkühlung eingetreten, vielmehr zeichneten sich die höheren Breiten jedenfalls gerade umgekehrt durch mildere schneereichere Winter aus, als sie heute dort herrschen. Man muß annehmen, daß in diesen Breiten zuerst ein Maximum des Schneefalles eintrat, dann erst ein Maximum der Vereisung, das vielleicht schon mit

der Abnahme der Niederschläge zusammenfiel, und erst mit dem Maximum der Vereisung trat als deren Folge eine antizyklonale Wetterlage und damit ein Maximum der Abkühlung ein, das in manchen Gegenden (z. B. Ostsibirien-Alaska) noch bis zur Gegenwart andauert.

Das Eiszeitphänomen wird also von einer Schneezeit erzeugt, und die Vereisung verschiedener Gebirge und sonstiger Gegenden in der ersten Hälfte der Quartärzeit hing von der Niederschlagszunahme ab. Wie heute Alaska, das Benettland, Nowaja Semlja und Grönland eine Vereisung erleben, Turkestan und die Antarktis aber einer Abnahme der Vereisung unterliegen, so mögen auch die diluvialen Vereisungen nicht überall gleichzeitig eingetreten sein, ebenso wie auch die Perioden der Schwankung da und dort zu verschiedenen Zeiten sich geltend gemacht haben dürften. Jedenfalls aber war die Abkühlung des Klimas nicht die Ursache, sondern die Folge der Eiszeit. Soweit LAMANSKY.

Bekannt ist die von PENCK ausgesprochene Feststellung, daß vor allem für die alpinen Gebiete die Eiszeit nichts anderes bedeutet, als eine Tieferlegung der ewigen Schneegrenze um 1000 m, und daß dafür eine Herabsetzung der jährlichen Durchschnittstemperatur um 3—4° C genüge. Diese, das Wesen der Eiszeiterscheinung treffend charakterisierende Anschauung kann aber sehr gut mit der soeben vorgetragenen vom LAMANSKY vereinigt werden; man braucht nur anzunehmen, daß die Temperaturerniedrigung durch Auftreten größerer Niederschlagsmengen in den Sommern bedeutender war, in den Wintern dagegen eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur statthatte, um soviel, daß das von BRÜCKNER geforderte[1]) geringere Jahresmittel herauskam.

Auch nach HERZ spielt der Wassergehalt der Luft eine bedeutende Rolle für die Absorption sowohl, wie für die Niederschläge[2]). Eine Änderung der Niederschlagsmengen hat unmittelbar eine Änderung in der Gletscherausdehnung zur Folge. „Es ist eine durch die Beobachtungen bestätigte Tatsache, daß die Gletscher vorwiegend in jenen Regionen vorkommen, wo ursächliche Momente für die reichlichere Bildung von Wasserdampf vorliegen." Der Mangel Asiens an vereisten bezw. vergletscherten Gebieten ist heute evident, und vielleicht ist der Mangel des Eiszeitphänomens dort auf die gleiche Ursache zurückzuführen. In der Nähe der Küsten liegende Gebirge, an denen sich auch die Niederschläge sammeln, wie der Himalaya und Skandinavien, sind reich vergletschert.

Nun ist bei sehr niederen eisigen Temperaturen die Luftfeuchtigkeit außerordentlich gering und darum sind in der Nähe des Meeres gelegene, aber sehr kalte Gegenden, wie z. B. Nordsibirien gar nicht bezw. weit weniger vergletschert, als ebensolche viel südlicher liegende Regionen mit feuchter, wärmerer Luft, wofür die vom Golfstrom umspülten skandinavischen Gegenden mit ihrem mehr gleichmäßig feuchten Klima ein guter Beweis sind. Wo nach HEIM warme ozeanische Winde unvermittelt auf ein hohes Gebirge treffen, wie in Grönland, Spitzbergen, Norwegen, Himalaya, Südamerika, entstehen Gletscher. Die Voraussetzung dabei ist natürlich immer, daß die Schneegrenze entsprechend weit heruntergeht, wie das eben in Gebirgen der Fall

1) BRÜCKNER, Das Klima der Eiszeit. Verh. 73. Jahresvers. Schweiz. Naturf. Ges., Davos 1891, S. 13.

2) HERZ, N., Die Eiszeiten und ihre Ursachen, Leipzig u. Wien 1909, S. 168.

ist. Heim sagt geradezu[1]): ein Winter von — 20° bis — 30° trägt zur Gletscherbildung eher weniger bei als einer von bloß — 10°; denn nicht die Kälte, sondern die reichlicheren Niederschläge, also im Gebirge der Schnee, der zu massenhafter Entstehung nur mäßiger Kälte bedarf, erzeugt Gletscher.

Wir können nach alledem eine Eiszeit definieren als eine Zeit durchschnittlich verminderter Jahrestemperatur in dem Sinne, daß die Winter milder, die Sommer kühler sind. Gleichzeitig müssen die schneeigen Niederschläge reichlicher sein. Daß dies auf die diluviale Eiszeit z. B. zutrifft, ist ja kaum zu bezweifeln. Kühler, aber nicht eiskalt, und niederschlagsreicher muß das Klima zur Eiszeit gewesen sein. Daß es kühler war, beweist uns das allseitige universelle Herabsteigen der Schneegrenze; daß es niederschlagsreicher war, beweist uns die Pluvialerscheinung in den nicht vereisten und heute trockenen Ländern.

Damit ist die eine Frage beantwortet, was eine Eiszeit, klimatisch definiert, sei. Die andere Frage, ob wir heute nur in einer ausgedehnten Interglazialphase leben oder schon jenseits der Eiszeit, wäre, wie oben schon ausgeführt wurde, nur zu entscheiden, wenn wir die Eiszeitursachen, nicht bloß die klimatisch-meteorologischen Bedingungen, kennen würden, unter denen sie möglich ist. Wir behalten uns also vor, später nach Besprechung der Eiszeitursachen noch einmal darauf zurückzukommen. Die dritte Unterfrage war die, ob die Vereisungen auf beiden Hemisphären und in allen Gegenden derselben Hemisphäre gleichzeitig stattfanden, d. h. divergent gleichzeitig aus einer universellen Ursache entsprangen, oder ob durch eine lokal wirkende Ursache zuerst ein begrenztes Areal vereiste und erst durch die hiervon beeinflußten klimatisch-meteorologischen Umgestaltungen andere Gebiete sekundär vereisten?

7. Die Gleich- oder Ungleichzeitigkeit der Glazialbedeckungen.

Wir kennen jetzt vier, vielleicht fünf sichere, ausgedehnte Eisbedeckungen in der historisch-geologischen Zeit: Die quartäre, die permokarbone, die kambrische und die algonkische. Das algonkische Eis ist trotz wahrscheinlich weiter Verbreitung bis jetzt sicher nur in der Nordhemisphäre festgestellt; möglicherweise gibt es zwei verschieden alte algonkische Vereisungen. Unterkambrisches Eis kennen wir aus China, Australien und dem nördlichsten Skandinavien. Das permokarbone nur aus der Südhemisphäre; auch wenn es auf der Nordhemisphäre (vgl. S. 414) noch einmal sicher nachgewiesen werden sollte, bliebe doch bei weitem das eigentliche Eisfeld auf der Südhalbkugel nach wie vor bestehen. Die Entfernung vom unterkambrischen chinesischen Eisherd bis zum australischen ist gleich jener vom chinesischen zum nordskandinavischen. Alle diese Eiszeiten machen unmittelbar den Eindruck einer ganz einseitigen Lage; nur die kambrische erscheint ausgesprochen auf zwei Hemisphären, und dann, wie gesagt, die quartäre.

Wir wissen nun allerdings nicht, ob stets die relative Pollage der heutigen annähernd entsprach, und ferner wissen wir nicht, inwieweit sich die salischen Kontinentalmassen gegeneinander verschoben haben.

1) Heim, A., Handbuch der Gletscherkunde, Stuttgart 1885, S. 431, 465.

Wir werden uns daher schwer entscheiden können, ob z. B. die auf zwei Hemisphären verteilten unterkambrischen Eisfelder antipodisch oder mehr einseitig lagen. Wohl aber können wir sagen, daß die permischen Eismassen ganz im Gegensatz zu den quartären, einseitig entwickelt waren, selbst wenn wir mit Wegener ein ehemaliges Näherliegen von Australien, Indien und Afrika annehmen wollen. Man könnte daher zu der Ansicht verleitet werden, daß die jungpaläozoische Eiszeit ihre Entstehung einer ganz anderen Ursache verdanke, als die bipolare diluviale.

Es ist nun von größtem Interesse, sich klar darüber zu werden, ob hinter dem äußeren Schein unbedingter Gleichzeitigkeit der Glazialbedeckung auf der Nord- und Südhemisphäre auch wirklich eine bipolar wirkende Ursache steckte, oder ob das Glazialphänomen auf der einen Hemisphäre die Folge des auf der anderen war; m. a. W. ob die „Eiszeit" auf beiden Hemisphären primär entstand und in diesem Sinne gleichzeitig war?

Kayser, in seinem Lehrbuch der Geologie[1]), will einen Beweis für die absolute Gleichzeitigkeit darin sehen, daß die südamerikanischen Kordilleren vom Kap Horn bis fast an den Golf von Mexiko durchweg vereist waren (vgl. die am Schlusse unseres Buches beigegebene Karte). Die südamerikanischen Kordilleren seien das einzige Hochgebirge der Erde, das sich aus nördlichen Breiten über den Äquator hinüber in hohe südliche Breiten erstrecke. War dieses Gebirge ehemals seiner ganzen Längserstreckung nach gleichzeitig vereist, so sei damit die Gleichzeitigkeit des Eiszeitphänomens auf beiden Hemisphären und unter dem Äquator erwiesen.

Nun ist das aber so eine Sache mit der „Gleichzeitigkeit". Gewiß trat die Vereisung beider Hemisphären mit dem Ende des Tertiär bezw. im Altquartär ein und schmolz in der Alluvialzeit auch auf beiden Hemisphären wieder ab, wie wir ja in historischer Zeit noch unmittelbar sehen. Indessen, was wir geologisch gleichzeitig nennen, kann nach dem absoluten Zeitmaße immer noch zeitlich insoweit auseinanderliegen, daß sich die Vereisungen wie anscheinend absolut gleichzeitige, synchrone, in Wirklichkeit aber nur geologisch gleichzeitige, homotaxe Erscheinungen verhalten, also möglicherweise im Verhältnis von Ursache und Folge zu einander stehen.

Bei dem von Kayser angezogenen Argument läßt sich, auch wenn es wahrscheinlich ist, dennoch nicht beweisen, daß die Vergletscherung der Kordilleren im Süden gleichzeitig mit der unter dem Äquator einsetzte. Gerade so gut hätte etwa die Vergletscherung im äußersten Süden ihren Anfang nehmen und langsam äquatorwärts schreiten können, wobei die äquatoriale nur eine Folge der südlichen Abkühlung gewesen wäre. Oder umgekehrt hätte die Vereisung der Nordhemisphäre die Ursache für eine sehr südliche sein und diese letztere, sowie mit ihr gleichzeitig die äquatoriale Andenvereisung sekundär hervorrufen können. Oder es hätte die Vereisung im äquatorialen Teile erst einsetzen können, als schon ein Maximum von Eisbedeckung im Norden und im Süden seit Jahrtausenden oder Jahrzehntausenden vorlag. In allen diesen Fällen würde sich das gleiche Bild glazialer Ablagerungen in den nordsüdlich ausgestreckten Anden bieten, auf das sich Kayser mit seiner Beweisführung bezieht.

1) Kayser, E., Lehrbuch der allgemeinen Geologie, 2. Aufl., Stuttgart 1909, S. 84.

Arldt[1]) sieht in einem anderen Umstande einen Beweis für die Gleichzeitigkeit. Die allgemeine Eisbedeckung im Diluvium im Nord- und Südpolargebiet, die allgemeine Vergletscherung der Gebirge auf der Nord- und Südhemisphäre außerhalb der Polarzone, die Tatsache, daß heute die Vereisung beider Pole stark zurückgegangen ist, zwingt ihn, „einen bipolaren Verlauf der Eiszeiten anzunehmen" und damit scheiden z. B. nach „ihm alle jene Erklärungsversuche aus, die einen alternierenden zur Voraussetzung haben, wie die Erklärung aus der Präzession."

Diese Anffassung ist aber nicht zwingend, denn die genetische Gleichzeitigkeit der polaren Eismassen zur Diluvialzeit läßt sich nicht beweisen durch das Argument, daß sie innerhalb des Diluviums liegen; sie sind zunächst nur homotax. Ob sie synchron sind, worauf es allein ankommt, d. h. ob sie beiderseits unabhängig von einander aus ein und derselben universellen Ursache gleichzeitig entsprangen, ist damit nicht erwiesen; ebensowenig wie durch die Tatsache, daß heute das Eis allgemein und damit gleichzeitig abschmilzt. Denn letzteres kann möglicherweise auf einer das Eis universell reduzierenden allgemeinen Ursache beruhen, die nicht einfach nur der umgekehrt verlaufende klimatische Mechanismus der werdenden Eiszeit zu sein braucht. Ja, man könnte es sogar für einen Beweis gegen die absolute Gleichzeitigkeit der Eiszeit auf beiden Erdhälften ansehen, daß aus den verschiedenen Regionen der Erde, wo das Diluvium genauer untersucht ist, meistens eine verschiedene Zahl von Vorstößen und Rückzügen — um nicht zu sagen „Interglazialzeiten" — angegeben wird. So unterscheiden wir in Norddeutschland höchstens drei, in den Alpen vier, in Nordamerika zwei Spezialglazialzeiten, zwischen denen also im ersten Falle zwei, im zweiten Falle drei und im letzten eine Interglazialzeit läge. Wenn das auch zum Teil sicher an den Gefälls- und Bodengestaltungen liegen mag, so ist es doch auffallend, daß Nordamerika, Großbritannien und Norddeutschland-Skandinavien so sehr differieren, wo doch im Großen und Ganzen auf einem nicht alpinen Terrain ziemlich gleichartige Inlandeismassen sich ausbreiteten, und nicht, wie in den Alpen, nur ausgedehntere Gebirgsgletscher vorhanden waren.

Eckardt, der sich in seinem bekannten Buch über Paläoklimatologie[2]) auch mit dem Problem der Gleichzeitigkeit beider polaren Vereisungen beschäftigt, sagt: Der Satz des Varenius: „Wenn ein Teil des Ozeans sich bewegt, so bewegt sich der ganze Ozean", gilt auch für das Luftmeer. Es läßt sich daher voraussetzen, daß bestimmte klimatisch-meteorologische Eigentümlichkeiten der eisfreien und der vereisten Länder nicht gleichmäßig Folgen einer Ursache sind, sondern sich zu einander wie Ursache nnd Wirkung verhalten. Es läßt sich denken, daß das im atlantischen Gebiet der Nordhemisphäre dominierende Inlandeis auf die übrigen Zonen des Erdballs gewisse Wirkungen ausübte, und diese Annahme gewinnt an Wahrscheinlichkeit durch die von Dove festgestellte Tatsache, daß die Durchschnittstemperatur der ganzen Erde nicht gemäß den theoretischen Bestrahlungsverhältnissen konstant bleibt, sondern vom Januar bis Juli steigt, daß also die Wärmeverhältnisse der nördlichen Halbkugel für die mittlere Tem-

1) Arldt, Th., Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt, Leipzig 1907, S. 483, 484.

2) Eckardt, W. R., Das Klimaproblem der geologischen Vergangenheit und historischen Gegenwart, Braunschweig 1909, S. 99 ff.

Digitized by Google

peratur der Erde ausschlaggebend sind. Soviel ist, wie ECKARDT ausführt, nach den allgemeinen meteorologischen Verhältnissen heute schon sicher, „daß die von den großen nordhemisphärischen Vereisungszentren ausgehenden Wirkungen sich in erster Linie auf die Hydrometeore, die ihren deutlichsten sichtbaren Ausdruck in den Wolken finden, erstrecken mußten, und diesen Umstand scheinen in der Tat die klimatischen Verhältnisse der meisten Länder der Erde zu bestätigen, und zwar vor allem der zur Eiszeit herrschende größere Niederschlagsreichtum fast aller Länder der Erde. Wir glauben also, daß der Höhepunkt der nordischen Vereisung, vor allem aber das Abschmelzen der großen Gletschermassen, atmosphärische Vorgänge, namentlich in den mittleren Luftschichten, bedingten, welche einen auch für die übrigen Zonen des Erdballs ozeanischen Charakter hervorriefen und die neben einer Schwächung des thermischen Gradienten auch den barischen, vor allem in den großen Windsystemen des Erdballs im allgemeinen verkleinert haben dürften ..."

Die in den niederen Breiten eintretende Pluvialzeit wäre somit kein Beweis für eine universell gleichzeitig wirksame Ursache, die überall das Klima gleichmäßig abgekühlt und die Schneegrenze herabgesetzt hätte, sondern die Pluvialzeit in niederen Breiten fiele dann zusammen mit dem Höhepunkte der nordischen Vereisung als deren Folgeerscheinung, könnte also teilweise geologisch-stratigraphisch jünger sein, als die eigentliche nordische Eiszeit, und erst ihren Anfang genommen haben, als diese sich schon ihrem Kulminationspunkte näherte. „Denn es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die enormen Mengen von Schmelzwasser, in welche sich die diluvialen Eismassen unter dem Einflusse der Änderungen in der Konfiguration der sie tragenden Länder und der mit diesen Erscheinungen Hand in Hand gehenden Verlagerung der Drehungspole[1]) verwandelten, großenteils zu Wasserdampf wurden und die absolute Luftfeuchtigkeitsmenge auch in den übrigen Gegenden der Erde in ziemlich hohem Grade zu steigern vermochten. Es mußten dann die mit einer größeren Feuchtigkeit versehenen Luftschichten, welche die Intensität und Häufigkeit der Niederschläge lange Zeiten hindurch auch in den von dem eigentlichen Glazialphänomen nicht betroffenen Ländern zu steigern vermochten, hier wiederum die thermischen Gegensätze der Jahreszeiten mildern, so daß die mittlere Temperatur dieser Länder während der Pluvialzeit keineswegs bedeutend kälter gewesen zu sein brauchte, wie man fast allgemein annimmt. Die Wirkung einer Zunahme des Wasserdampfes in der Atmosphäre ist vielmehr in der Hauptsache die, daß die klimatischen Gegensätze ausgeglichen werden, wie andrerseits die Verminderung des Wasserdampfes deren Kontrast erhöhen muß. Daß deswegen eine bedeutende gleichmäßige, etwa 3—4° C betragende Abkühlung auch in den übrigen Zonendes Erdballs, den Wüsten- und Tropengegenden, stattgefunden hätte, ist eine ganz haltlose, ja vom meteorologischen Standpunkt aus sogar vollkommen falsche Voraussetzung."

Besteht dieser von einem Meteorologen, nicht Geologen, vertretene Zusammenhang, dann eröffnet sich auch die Möglichkeit, die Vereisung der Südhemisphäre im Verhältnis zu jener der Nordhemisphäre wie Wirkung und Ursache zu begreifen und — da sich die Temperaturmittel der Erde nach der Nordhalbkugel richten — die Ver-

1) Vgl. Kapitel IV, S. 104, sowie im Folgenden S. 467.

Digitized by Google

eisung der höheren südlichen Breiten synchron mit der Pluvialzeit der niederen, jedoch, wie diese, zeitlich nachgeordnet der nordischen anzusetzen. Auch die alpinen Vergletscherungen könnten dann eine Folge der nordischen sein.

Lamansky hat, wie S. 440 schon referierend erwähnt worden ist, gerade durch seine Definition des Eiszeitphänomens ein Kriterium gewonnen, wonach er die Frage „gleichzeitig oder nicht gleichzeitig“? von seinem Standpunkte aus glaubt beantworten zu können. Er sagt: Wenn die Glazialerscheinung als Folge einer Schneezeit betrachtet werden muß und wenn andrerseits ausgedehnte Eisbedeckungen über sich selbst die Bedingungen zu ihrer Vernichtung erzeugen, so müssen sie auch selbständig existieren und entstehen, unabhängig von anderen Arealen. Denn es ist ganz unwahrscheinlich, daß die auch die Gletscherschwankungen verursachenden schneereichen und schneearmen Perioden sich gleichzeitig und gleichmäßig auf der ganzen Erde geltend machten.

Harmer meint auf Grund der oben (S. 396) entwickelten Gesichtspunkte, daß aus meteorologischen Gründen die Eisbedeckung in Nordeuropa und in Nordamerika alternieren mußten. Unter den heutigen Umständen wo der Golfstrom und die Südwestwinde über Großbritannien und Skandinavien auch zur Winterzeit eine gewisse Wärme in den Polarkreis tragen, konnte dort eine permanente Eisdecke nicht bestehen. Wenn nun das Maximum der Vereisung in Nordamerika und Europa gleichzeitig stattgefunden hätte, so müßte sich über beide Gebiete eine enorme Antizyklone gelagert haben, vom Pol südwärts über beide Kontinente. Das aber hätte zu allen Jahreszeiten warme Süd- und Südwestwinde nach Westeuropa gebracht, und nur durch die Annahme eines Alternierens hüben und drüben — abgesehen von lokalen Vereisungen — entgeht man der obigen unhaltbaren Folgerung. Andrerseits macht gerade Brückner in einer der zitierten Abhandlung Lamansky's beigefügten Kritik[1]) darauf aufmerksam, daß die vollkommene Gleichartigkeit der jetztweltlichen Klimakurve in Nordeuropa, den Alpen und Nordamerika, also in allen den Gegenden, wo die Eiszeitablagerungen genauer erforscht sind, mit Entschiedenheit für eine Koinzidenz wenigstens dieser Eiszeiterscheinungen — Brückner sagt: für eine Koindizenz der Eiszeiten auf der Erde — spricht. Tatsächlich aber gibt er zu, daß die antarktischen Eismassen davon eine Ausnahme machen, wofür er eine spezielle Erklärung gibt.

Wir können also zusammenfassend sagen: Daß die „Eiszeit“ auf beiden Hemisphären im weiteren Sinne gleichzeitig verlief, d. h. daß sich, abgesehen von den möglichen und zum Teil auch zweifellos vorhandenen regionalen Zeitdifferenzen, das ganze Phänomen im wesentlichen innerhalb des Quartärs abspielte, wird niemand leugnen wollen. Die Stratigraphie stellt das unbedingt sicher. Ob es aber im absoluten Sinne gleichzeitig war und durch eine universell wirkende Ursache überall im gleichen Augenblick entstand, oder ob die nordpolare Vereisung die primäre war, welche sekundär die der übrigen Regionen veranlaßte, oder ob aus meteorologischen Gründen, wie Harmer meint, ein fortwährendes Alternieren zu beiden Seiten des Atlantik stattfand, das ist keineswegs sichergestellt, sondern das Eine oder Andere kann

1) Brückner, Ed., Bemerkungen zu der Abhandlung des Herrn Lamansky über das Absterben der Gletscher. Zeitschr. f. Gletscherkunde, Bd. VIII, Berlin 1914, S. 196/197.

höchstens als wahrscheinlich gelten. Ich halte es daher mit SUPAN, der zwar von der Gleichzeitigkeit im engeren und weiteren Sinne überzeugt ist, dennoch aber exakterweise betont, daß ein zwingender Beweis für oder gegen die Gleichzeitigkeit der Eis- und Pluvialzeiterscheinung auf der Erde bis dato noch nicht geliefert worden ist[1]).

8. Die Analyse der vorweltlichen Klimakurve und die Ursachen ihrer Hauptausschläge[2]).

Wie das Klima bedingt ist durch das Zusammen- und Gegeneinanderwirken verschiedenster Faktoren, sowohl kosmischer, wie tellurischer, ebenso muß auch eine Klimänderung sich einstellen bei Veränderung eines dieser Faktoren oder aller. A priori können demnach für eine Änderung folgende bestimmenden Momente in Betracht kommen:

1. kosmische:
   a) Verminderung bezw. Vermehrung der Intensität der Sonnenbestrahlung,
   b) Änderungen in der Form der Erdbahn und in der Stellung der Erde zur Sonne,
   c) Wärmedifferenzen im Weltraum;
2. tellurische:
   a) Verlagerung der Pole und Änderungen der Ekliptikschiefe,
   b) Veränderungen der Grenzen von Festland und Meer,
   c) Veränderungen der Vertikalkonfiguration der Länder,
   d) Veränderungen in den Druck- und chemischen Verhältnissen der Atmosphäre und des Feuchtigkeitsgehaltes.

Eine einfache Überlegung sagt uns, daß bei so vielen, noch nicht einmal besonders spezifizierten Möglichkeiten die allergrößte Wahrscheinlichkeit besteht, daß für die verschiedenen Klimaänderungen der Vorzeit die allerverschiedensten Faktoren in Betracht kommen dürften und daß auch im einzelnen Falle kaum nur einer jener Faktoren allein maßgebend gewesen sein wird, weil sie ohnedies zum Teil voneinander abhängig sind. Das läßt uns schon von vorneherein erwarten, daß jede Erklärung vorweltlichen Klimawechsels durch einen einzigen Faktor nicht unbedingt befriedigen wird. Es dürfte auch hier sich die schon öfter hervorgehobene Erfahrung bewähren, daß wir mit einem Ursachennetz zu rechnen haben, nicht mit einer einfach verlaufenden Ursachenlinie.

Ein Satz steht unbedingt fest: daß von der Strahlungsintensität der Sonne in erster und letzter Linie die Durchschnittswärme der Erde abhängt. Würde sich die Sonne wesentlich abkühlen, dann müßte auch die Gesamttemperatur der Erde abnehmen und umgekehrt. Aber

1) SUPAN, A., Grundzüge der physischen Erdkunde, 5. Aufl., Leipzig 1911, S. 245.

2) Von den zahllosen Gedanken und ausgearbeiteten Theorien über die Eiszeitursachen werden im Folgenden, dem didaktischen Zweck des Buches entsprechend, nur einige der hauptsächlichsten, gewissermaßen als Typen herausgegriffen, um daran die bestehenden Möglichkeiten zu erörtern. Wer sich für Weiteres interessiert, sei auf die in Kapitel II, S. 34ff. zitierten Werke verwiesen.

der Satz erleidet sofort eine Einschränkung, wenn die Schwankungen der uns von der Sonne zugeführten Wärme nur geringe Beträge erreichen. Dann kann sich das zwar in entsprechender Weise ebenfalls praktisch geltend machen, muß es aber nicht. Denn gesetzt den Fall, es würde zu gleicher Zeit mit einer Abnahme der Sonnenwärme auf der Erde zufällig eine derartige Verteilung von Wasser und Land sich einstellen, daß die äquatoriale Wärme weiter und allgemeiner nach Norden und Süden sich verteilte, dann möchte zwar die Gesamttemperatur der Erde entsprechend der verminderten Wärmezufuhr etwas geringer werden, aber das Klima als Ganzes würde ozeanischer, ausgeglichener und milder, also in einen Zustand gelangen, den wir als äußerst günstig empfinden würden und in unserer obigen Kurve (Fig. 76, S. 432) etwa in den höheren Teil von Rubrik 2 oder vielleicht 1 einrücken könnten — trotz Abnahme der primären Wärmequelle. Die auf diese Weise ausgeglicheneren Klimagürtel würden sich alsbald wieder schärfer akzentuieren, wenn unmittelbar nach Erreichung des soeben geschilderten Zustandes die Ekliptikschiefe sich verringerte. Die Klimakurve würde sich dann wieder nach Rubrik 3 hin absenken, es würde, äußerlich besehen, ein ganz ähnlicher Zustand erreicht werden, wie der, von dem wir vorhin ausgingen, aber jetzt wäre er bedingt durch ungünstige Ekliptiklage bei günstiger Land- und Wasserverteilung, während der sehr ähnliche Anfangszustand bedingt war durch günstigere Ekliptiklage und ungünstige Land- und Wasserverteilung. Würde sich nun neuerdings die Wärmezufuhr von seiten der Sonne wieder vermehren, dann bliebe die Schroffheit der Klimazonen wegen der ungünstigen Ekliptiklage bestehen und erst, wenn diese wieder sich gebessert hätte, könnte ein gleichmäßig warmes oder mildes Klima auf der ganzen Erde wieder platzgreifen.

Man sieht aus diesem Wenigen, wie sich die klimaschaffenden Faktoren gegenseitig modifizieren und wie einander ähnliche Klimazustände gelegentlich auf ganz verschiedener Konstellation der Ursachen und der Bedingungen aufgebaut sein können.

a) Gebirgsbildung.

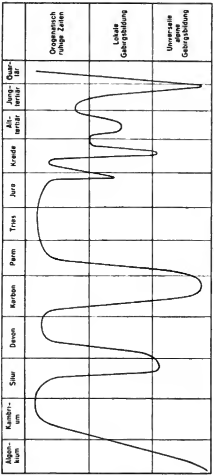
Über die Bedingungen, unter denen sich der eiszeitliche Kurvenausschlag des algonkischen Zeitalters vollzog, den Schuchert auf verschiedene Zeiten des Algonkiums verteilt wissen will, und den wir zunächst noch als ein Ereignis auffassen, läßt sich wenig aussagen, weil wir die stratigraphischen und paläogeographischen Verhältnisse jener Zeiten wenig oder gar nicht kennen. Immerhin läßt sich annehmen, daß das Zurücktreten der Kalksedimente und das häufige Vorherrschen klastischer Bildungen nicht nur auf ein wenig warmes, sondern auch auf ein niederschlagsreiches Klima hinweist. Wir wissen ferner, daß im Algonkium starke gebirgsbildende Bewegungen auftraten und daß sich noch mit Beginn des Kambriums die große huronische Gebirgskette am Südrande des nordatlantischen Kontinentes erstreckte, dort also feuchtigkeitsbeladene Winde auffangen konnte. In diesem Sinne ist es naheliegend, die algonkische Glazialerscheinung, ebenso wie die diluviale, den vermehrten Niederschlägen und dem unruhigen, zum Teil wohl große Höhen erreichenden Relief der Erdoberfläche zu dieser Zeit zuzuschreiben. Da ergibt sich nun sofort eine überraschende Parallele: auch die Abkühlung der Pliocänzeit und die diluviale Vereisung folgt einer Zeit mit außerordentlich umfassender

Gebirgsbildung, wobei die vermehrten Niederschläge, die zur Diluvialzeit stattfanden, in weiten Gebieten der Erde als Schnee, und zwar auch im Sommer, herabgehen mußten. Denn durch die Gebirgsbildung treten ja naturgemäß viel mehr Regionen in den ewigen Schneegürtel herein, als es in den Zeiten eines abgetragenen, alternden Erdreliefs der Fall ist. Genau die gleichen Bedingungen müssen für die spätpaläozoische Eiszeit maßgebend gewesen sein. Auch hier die intensive karbonische, noch stellenweise in's Perm hineinreichende Gebirgsbildung und auch hier die starken Niederschläge, die uns auf der Nordhemisphäre das Rotliegende annehmen läßt.

Die Zeiten stärkster Gebirgsfaltungen der uns bekannten Erdgeschichte sind von einer Eiszeit gefolgt. An dieser Tatsache läßt sich nicht rütteln, und sie wird noch wertvoller, wenn wir sehen, daß die Bedingungen für die Verschlechterungen des Klimas am Anfang der Devon- und gegen Ende der Kreidezeit ebenfalls auf Gebirgsbildungsperioden folgen. Aber wie diese Ausschläge gegenüber den drei eiszeitlichen nur untergeordneter Art sind, so sind auch die kretazischen und die an der Grenze von Devon und Silur liegenden Gebirgsbewegungen gegenüber der huronischen, armorikanisch-variszisch-herzynischen und der tertiären nur untergeordneter Art. Ferner ist auch das Unterdevon reicher an klastischen, auf vermehrte Niederschläge deutenden Ablagerungen, als das Silur mit seinen auf wärmeres und trockneres Klima deutenden kalkreichen und seltener klastischen Ablagerungen. Bei der Kreidezeit ist dies schwerer zu entscheiden. Die kaledonische Gebirgsbildung am Ende des Silur oder in der oberen Hälfte des Silur war weniger ausgreifend, als die algonkische und jungpaläozoische; die kretazischen Gebirgsbildungsbewegungen im alpinen Gebiete, die wohl auch in den noch nicht erforschten tertiären Faltengebirgen, wie dem Himalaya, analog stattgefunden haben dürften, sind ebenfalls minder intensiv gewesen, als die tertiären, zu denen jene das Vorspiel bildeten. In diesem Zusammenhange gewinnen nun auch die alleruntergeordnetsten Gebirgsbewegungen anderer Zeiten, wenn man sie mit den Ausschlägen der Klimakurve auf S. 432 vergleicht, besondere Bedeutung. Am Ende der Jurazeit haben wir eine etwas deutlichere Zonenbildung auf der Erde, als im übrigen Jura, und diese bereitet die kretazische Zonengliederung vor. Im oberen Jura haben wir auch gebirgsbildende Bewegungen in Westamerika und vielleicht in Neuseeland, und die starken Trans- und Regressionen im Dogger und Malm der ganzen Welt legen die Vermutung nahe, daß auch in sonstigen Geosynklinalregionen Bodenbewegungen herrschten.

So kann man also eine unverkennbare Beziehung zwischen Gebirgsbewegungen und Ausschlägen der Klimakurve konstatieren, die zu Eiszeiten oder stärkerer Betonung der Zonenbildung führen. Umgekehrt sind die tektonisch ruhigen Zeiten der Erdgeschichte, also Kambrium, Mittel- und Oberdevon, Trias-Jura, weniger das Alttertiär, in denen die vorher gebildeten Gebirge abgetragen wurden und waren, auch zugleich die Zeiten eines sehr ausgeglichenen und vielfach auch trockenen Klimas. So sehen wir im Kambrium nach der unterkambrischen Eiszeit diesen letzteren Zustand sich entwickeln, wir finden ihn vorzüglich in Trias und Jura — den tektonisch verhältnismäßig ruhigsten Zeiten der Erdgeschichte.

Dementsprechend habe ich beifolgende stark schematische Kurve (Fig. 78) entworfen, die das Gesagte illustriert, wenn man sie mit der Klimakurve von S. 432 vergleicht. Es ist ganz klar, daß die Ausschläge beider nicht koindizieren können, wenn wirklich die Gebirgsbildung entscheidenden Einfluß auf die Eiszeitentstehung oder zugleich auf die schärfere Ausprägung der Klimazonen hat. Denn in diesem Falle muß natürlich die Gebirgsbildung der Vereisung einige Zeit vorausgehen, weil sich Eisregionen erst nach Entstehung der Gebirge entwickeln und nur langsam in's Vorland ausdehnen können. Aber gerade die Vorlandeismassen, soweit solche von Gebirgen kommen, sind es ja, die uns Sedimente hinterlassen haben, während die Gebirge selbst durch Denudation oder marine Abrasion verschwunden sind und mit ihnen natürlich zu allererst die innerhalb der Gebirge zur Aufschüttung gelangten Glazialablagerungen.



Figur 78.

Nun sehen wir aber auch auf unserer Klimakurve mehrere **kleine Ausschläge**, so am Anfang der Trias, des Jura und auf der Grenze von Alt- und Jungtertiär, die eine geringe, bald wieder ausgeglichene Verschlechterung anzeigen. Es ist bis jetzt kaum möglich, hierfür eine Erklärung zu finden. Wir können nur annehmen, daß die Buntsandsteinperiode eine Zeit starker Niederschläge war, was aus der reichlichen Ansammlung klastischen Materiales hervorgeht; wie man aber etwa den Ausschlag der Lias- und Alttertiärzeit auffassen soll, bleibt zunächst fraglich. Ich werde später noch einmal darauf zurückkommen und nach Durchsprechung anderer Gesichtspunkte versuchen, eine Erklärung zu geben.

Den Zusammenhang zwischen Gebirgsbildung und Eiszeiten faßt SCHUCHERT so auf[1]), daß in den Zeiten der Gebirgsentstehung die Kontinente stark verändert werden, teilweise Brüchen ausgesetzt, zerlegt und in vielen ihrer Teile durch neue Meeresstraßen getrennt oder durch neue feste Landbrücken vereinigt werden. Derartige Veränderungen im Verhältnis zwischen Land und Meer alterieren natürlich auch den Verlauf der polwärts gerichteten Meeresströme, bringen eine wesentliche Veränderung in der Verteilung des aus der heißen Zone kommenden erwärmten Wassers hervor. Wenn nun, wie das nach Gebirgsbildungszeiten der Fall ist, die Länder sehr ausgedehnt und hoch sind, dann werden auch die Luftströmungen alteriert. Die Gebirgsketten liegen nun im allgemeinen nahe den Kontinentalrändern, kühlen also die von den Ozeanen her kommenden, mit Feuchtigkeit beladenen Luftströme ab und zwingen sie, ihre Feuchtigkeit in Form von Niederschlägen abzugeben. Aus dem gleichen Grunde entwickeln sich in solchen Zeiten auch die ausgedehntesten Wüsten, wie wir an der Jetztzeit sehen, wo ein Fünftel der Landoberfläche zu trocken ist, um ein reiches Pflanzenleben zu gestatten. Ist eine Gebirgsbildungsperiode abgeschlossen, dann tritt die Erdkruste praktisch für lange Zeit in ein Ruhestadium ein, die Denudation vollbringt nun ungestört ihr Werk, und schließlich werden auch die Gebirge in den Ozean hinausgewaschen worden sein. Wenn alles jetzt über dem Meeresspiegel Liegende in das Meer getragen wäre, würde die Strandlinie 650 Fuß höher liegen und alles Land wäre weit und breit überflutet. Auch die ozeanischen Böden ändern sich, und sowohl bei einer Senkung, wie bei einer Hebung derselben würde sich der Meeresspiegel auf der ganzen Welt entsprechend einzustellen suchen, weil alle großen Ozeanbecken in Zusammenhang stehen. Infolge dieser Krustenbewegungen werden die Länder periodisch überflutet — der nordamerikanische Kontinent ist nicht weniger als siebzehnmal überflutet worden, wobei Areale von 154000 bis 4600000 Quadratmeilen bedeckt wurden. Jede solcher Überflutungen verbessert das Klima der Länder, weil sie ihnen insularen Charakter verleiht, d. h. ein feuchteres, wärmeres, ausgeglicheneres Klima erzeugt, wohl geeignet zum üppigen Gedeihen von Pflanzen und Tieren. Kühle und kalte Klimate sind in der Erdgeschichte nicht bekannt zu Zeiten weiter Überflutung der Kontinente; sie erscheinen vielmehr dann, wenn die Länder weite Flächen einnehmen und die Ozeane schmal sind. Das Klima der Erde ist durch Millionen von Jahren hindurch warm, ausgeglichen und baar eines winterlichen Charakters, und in diesen Zeiten ruhen so gut wie ganz die Krustenbewegungen. In unregelmäßigen Zwischenräumen türmen sich hohe Gebirge auf, die Luftströmungen werden abgelenkt, abgekühlt und ihrer Feuchtigkeit beraubt, die Kontinente werden durch Landbrücken verbunden, der Zufluß warmen Wassers nach den Polarregionen gestört, ja womöglich ganz unterbunden, und damit greifen große Klimaänderungen Platz. Das sind sozusagen die kritischen Zeiten der Erde und ihres Lebens.

Ich glaube, so kompliziert liegt die Sache gar nicht, sondern viel einfacher, nämlich so, wie ich sie vorhin (S. 448) dargestellt habe. Auch RAMSAY hat früher schon die Gebirgsbildung als eine Hauptbedingung für Glazialerscheinungen angesehen. Nach ihm[2]) sind die eigentlichen

1) SCHUCHERT, CH., Climates of the past. Yale Review, New Haven 1913, S. 719—728.

2) RAMSAY, W., Orogenesis und Klima, Helsingfors 1910, S. 1—48.

Eiszeiten nur besonders ausgeprägte Phasen der miothermen Perioden. Unter diesen versteht er Zeiten mit weniger günstigem Klima im Gegensatz zu pliothermen Perioden, Zeiten, in denen die mittlere Temperatur der Erde gegen heute höher war. Eiszeiten sind ihm Verschärfungen des miothermen Zustandes der Erde, es sind allgemeine, in allen Gebieten während einer gewissen Epoche auftretende Vergrößerungen der Inlandeise und -gletscher. Darum müssen die eigentlichen eiszeitlichen Klimate ähnliche Ursachen, wie die miothermen überhaupt, haben. Die „Ursachen" (wir wollen lieber sagen: die Bedingungen) der letzteren sucht er aber in der größeren durchschnittlichen Höhe des Erdreliefs. Doch brauche man nicht mit Charpentier u. a. anzunehmen, daß die vereisten Gebiete ebensoviel höher über der Meeresfläche lagen, wie die eiszeitlichen Schneegrenzen sich unter den gegenwärtigen befanden, und noch weniger, daß alle einst mehr vereisten Gebiete damals höher lagen. Vielmehr bewirkte an sich schon die Erhöhung des Landreliefs eine Abkühlung der Luft und eine Vermehrung der Niederschlagshäufigkeit und damit eine dauernde Schneeansammlung; ferner bewirkt die Ansammlung und Vermehrung der Schnee- bezw. Eismassen von sich aus wieder eine Verschlechterung des Klimas; drittens werden mit der Ansammlung von Landeis dem Meere Wassermengen entzogen (deren Quantität ein Blick auf die unserem Buche beigegebene Eiszeitkarte veranschaulicht), und auch dadurch sei der Meeresspiegel weiter gesunken. Ramsay vergißt hier aber wohl der Isostasie, die möglicherweise ein gleichzeitig entsprechendes Absinken der eisbeladenen Kontinentalgebiete veranlaßt haben dürfte.

Natürlich ist es auch ein ganz mißverstandenes Argument gegen diese Erhebungstheorie, wie wir sie kurz nennen wollen, wenn Gregory darauf hinweist[1]), daß die kambrische und permokarbonische Vereisung nur auf Plateaus bezw. Ländern mit flachem Relief entwickelt war. Abgesehen davon, daß wir gar nichts über die Höhenlage jener Gegenden wissen, daß wir ferner nicht wissen, ob diese Eismassen nicht aus Höhenregionen herbeigeschoben wurden, wie etwa das norddeutsche Diluvialeis aus Skandinavien, und abgesehen davon, daß Koken z. B. gerade für das indische Permeis eine Herkunft aus bedeutenden Höhen annimmt[2]), handelt es sich bei dem von uns vertretenen Zusammenhang von Gebirgsbildung und Vereisung lediglich um die allgemeine Herabdrückung der Schneegrenze auf Erden dadurch, daß weite Teile der Oberfläche ihrerseits in beträchtliche Höhenlage gerückt werden und mit ihren vereisten Firnen auf die Umgebung abkühlend wirken.

Wir kennen also nunmehr zwei Bedingungen für die Entstehung extremer Klimaausschläge I. Ordnung in der Erdgeschichte, d. s. solche, welche in einer Eiszeit gipfeln (und dahin können wir auch die II. Ordnung rechnen, welche wesensgleich, nur nicht so extrem entwickelt sind, wie die I. Ordnung) — und diese Bedingungen sind: Gebirgsbildung, Feuchtigkeitszunahme und gleichzeitige Abkühlung. Können wir in Erfahrung bringen, wodurch die beiden letzteren hervorgerufen werden, dann kennen wir auch die Eiszeitursachen.

---

1) Gregory, J. W., Climatic variations, their extent and causes. Compt. rend. Congr. géol. intern. 1906, Fasc. 1, Mexico 1907, S. 474.
2) Koken, E., Indisches Perm und die permische Eiszeit. Festband zum N. Jahrb. f. Mineral. etc., Stuttgart 1907, S. 541 ff.

b) Das Schwanken der Sonnenwärme.

PHILIPPI nimmt Änderungen in der Solarkonstante und eine verminderte Wärmezufuhr von seiten der Sonne als Grundursache von Vereisung an[1]). Nach ihm ist die Vereisung großer Landgebiete einem riesigen Destillationsprozeß vergleichbar. Der in wärmeren Meeren am ausgiebigsten produzierte Wasserdampf schlägt sich auf kälteren Festländern als Schnee nieder. Sinkt allgemein die Temperatur, dann geben auch die Meere weniger Wasserdampf ab, jedoch waltet da ein eigentümliches Verhältnis. Bei abnehmender Temperatur der Erde wird das Meer relativ wärmer bleiben als das Land, die Wärmedifferenz zwischen Meer und Land wird gesteigert, und so wird zwar die absolute Luftfeuchtigkeitsmenge sinken, aber die relative über den Kontinenten wird sich erhöhen. Diese Behauptung beruht auf der Tatsache, daß in niederen Breiten die Kontinente viel stärker erhitzt werden, als die Meere. In höheren Breiten, also bei abnehmender Temperatur, ist das Verhältnis umgekehrt. BRÜCKNER hat bewiesen, daß das Herabgehen der Temperatur auf fast allen Kontinentalmassen eine Vermehrung der Niederschläge zur Folge hat. Ohne Abminderung der Temperatur können sich die Niederschläge nur bei starken morphologischen Veränderungen der Erdoberfläche, also einer starken Vergrößerung der Meeresoberfläche oder einer allgemeinen Erhöhung der Länder einstellen. „So ist es denn sehr wahrscheinlich“, schließt PHILIPPI, „daß die Klimaschwankungen der geologischen Vergangenheit in erster Linie auf Änderungen der Mitteltemperaturen zurückzuführen sind, daß diese aber ihren hauptsächlichsten Grund in Variationen der Sonnenbestrahlung besitzen.“

Die Grundlage für die von DAVID sowohl, wie von PHILIPPI entwickelten Theorien ist die Tatsache der wechselnden Intensität der Sonnenausstrahlung. Das sind nun allerdings bis jetzt sehr kleine Beträge, und das Entscheidende wäre, zu wissen, ob auch langfristige Wärmeschwankungen vorkommen. Nun haben wir ja in den bekannten BRÜCKNER'schen 35jährigen Intervallen Klimaperioden, die nach neueren Untersuchungen gleichfalls im Zusammenhang mit solaren Perioden stehen. Zwar nicht mit den gewöhnlichen 11jährigen, sondern mit der eine 35,5jährige Periodizität besitzenden Fleckenbedeckungsperiode, d. h. Flächenausdehnung der Flecken im ganzen. Wie ein genauerer Vergleich der statistischen Tabellen zeigt[2]), fallen die Minima der Brücknerperioden in die Zeiten geringster Fleckenbedeckung. Es zeigt sich also, daß die Sonne nicht nur jene von den Amerikanern nachgewiesene kurzfristige, sondern auch langfristige, unmittelbar auf die Gestaltung des Klimas Einfluß ausübende Perioden hat. „Wenn in einem Zeitraum von 5 Jahren Schwankungen der Strahlungsintensität von über 5% vorkommen, darf man dann solche um 20 und 30% für undenkbar halten? Und hindert uns irgend etwas daran, Zeiten von sehr langer Dauer anzunehmen, in denen die Solarkonstante weit von ihrem heutigen Werte abwich?“ Wenn diese Argumentation PHILIPPI's natürlich auch nicht zwingend ist, so können wir doch immerhin nach den bisher bekannt gewordenen Veränderungsarten der Solarkonstante es nur als wahrscheinlich bezeichnen, daß auch noch größere Perioden

1) PHILIPPI, E., Über einige paläoklimatische Probleme. N. Jahrb. f. Mineral. etc., Beil.-Bd. XXIX, Stuttgart 1910, S. 106—179.

2) SUPAN, A., Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1900, 3. Aufl., S. 238.

Digitized by Google

oder, neutraler ausgedrückt, Schwankungen von größerer Dauer in der Natur des Sonnenkörpers begründet liegen werden. Man ist ja ohnehin heute nichtmehr der Ansicht, daß die Sonne einem einfachen Abkühlungsprozeß, nach Art einer glühenden Eisenkugel unterliegt[1]), sondern ein außerordentlich komplizierter Körper ist, für dessen mögliche säkulare Abkühlung ähnliche Betrachtungen am Platze sind, wie sie oben bei Besprechung der Kontraktionstheorie (S. 110ff.) für die Erde vorgebracht wurden. Bei der außerordentlichen Größe des Sonnenkörpers im Vergleich zu der Erde ist es ja an sich schon wahrscheinlich, daß langfristige Änderungen der Strahlungsintensität, zusammenhängend mit Stoffumsetzungen eintreten müssen, und auch die Fleckenbildung wird ja eine derartige Ursache haben. Daß diese und die anzunehmenden größeren und länger anhaltenden Veränderungen etwas Periodisch-Rhythmisches an sich haben, ist nicht wunderbarer, als etwa der Rhythmus eines Geysirs, der ja ein allerdings ganz entferntes Analogon in den Gasprotuberanzen der Sonne haben mag.

David versucht[2]) folgendermaßen die merkwürdig einseitige Lage der Permeiszeit durch die Verminderung der Sonnenwärme zu erklären.

Wir wissen durch die Untersuchungen von Abbot, Langley und Fowle, daß die von der Sonne ausgestrahlte Energie in kurzen Zwischenräumen bis zu 10% schwanken kann, die Sonne also ein veränderlicher Fixstern ist. Eine Reduktion der irdischen Durchschnittstemperatur von 8—10° C, sagt David, würde die Schneegrenze in den antizyklonalen Gürtelregionen um etwa 1700—1800 m näher an das Niveau des Meeresspiegels heranrücken, als jetzt. Jedoch würde eine solche Temperaturreduktion nicht völlig die ausgedehnten Eisflächen nahe dem Meeresspiegel unter 32° nördl. und südl. Br. erklären. Noch weitere verursachende Faktoren müssen hinzukommen, etwa die entsprechende Lagerung von Landmassen in der vorwiegenden Windrichtung, um gerade die unterkambrische und permokambrische Vereisung zu erklären. Die wahrscheinliche Wirkung der wachsenden Kälte würde in den Antizyklongürteln die sein, daß die Niederschläge meistens in Form von Schnee herunterkommen, wenn eben die Schneegrenze dort in der Erdatmosphäre herabgedrückt würde. Die Bildung von Schnee an Stelle von Wasserdampf in den höheren Zonen der Antizyklongürtel würde somit in der Permokarbonzeit zu sehr vermehrten Niederschlägen geführt haben. Die Bildung ausgedehnter Schneeflockenmassen, die aus dem Zusammenschießen kleinster aus

1) Auf diese ältere Anschauung ist die Eiszeithypothese Dubois' aufgebaut, wonach die Sonne durch allmähliche Abkühlung im Tertiärzeitalter in das Stadium der gelben Sterne eingetreten sei und, da der Prozeß natürlich mit Schwankungen verknüpft ist, in dem Zwischenstadium zwischen gelbem und rotem Stern Glazial- und Interglazialzeiten hervorgerufen habe. Da die Wärme der Sonne nur noch produziert werde durch Verdichtung, so müsse die Wärmekurve absinken und die Interglazialzeiten haben nur die Bedeutung kürzerer Regenerationsphasen, denen erneute und schließlich dauernde Eisbedeckungen folgen. Es ist das alte, auch in populären Büchern gerne behandelte Schreckbild jenes alsbald eintretenden Unterganges der Erde und ihrer Bewohner, bei dessen endgültigem Herannahen der letzte Mensch als Eskimo am Äquator zugrunde geht. Womit natürlich nicht die Ausführungen von Dubois irgendwie verglichen sein sollen. (Dubois, E., Die Klimate der geologischen Vergangenheit und ihre Beziehung zur Entwicklungsgeschichte der Sonne. Nymegen u. Leipzig 1893.)

2) David, T. W. E., Conditions of climate at different geological epochs etc., a. a. O. S. 480—482.

Nebelpartikel entstandener Eismolekel in den höheren Luftregionen entstehen, würde das Entweichen der Feuchtigkeit nach den Polen unterbinden, und die Regionen auf der polwärts gelegenen Seite der Antizyklongürtel würden auf diese Weise sehr viel weniger Feuchtigkeit bekommen. So könnte man die merkwürdige Erscheinung erklären, daß die permokarbone und zum Teil auch die unterkambrische Vereisung dem Äquator so sehr genähert ist und nicht bipolar lag, trotzdem die Abnahme der Sonnenwärme der verursachende Primärfaktor gewesen wäre.

e) Die Kohlensäuretheorie und Verwandtes.

Schon vielfach ist der Gedanke variiert worden, es möchten durch den wechselnden Gehalt der Luft an bestimmten Gasen und Dämpfen auch die Sonnenbestrahlung und damit die Wärme- und Niederschlagsverhältnisse beeinflußt, und auf diese Weise auch das Eiszeitproblem geklärt werden. Die beiden SARASIN vermuteten, es könnten durch vulkanische Explosionen, analog dem Krakatau-Phänomen, feinste Staubwolken in den Lüften suspendiert werden, und durch Abhaltung eines Teiles der Wärmestrahlen und durch Nebelbildung, die ja eine Feuchtigkeitsansammlung um kleinste Staubpartikel herum ist, das Klima bis zur Hervorrufung einer Eiszeit beeinflußt werden[1]). HARBOE sieht in der Vermehrung der Luftfeuchtigkeit durch vulkanische Exhalationen eine der Bedingungen zur Entstehung glazialer Ansammlungen[2]), und so würde hier der Vulkanismus genau die umgekehrte Rolle spielen, wie in der ARRHENIUS-FRECH'schen Kohlensäuretheorie[3]), bei der der Vulkanismus durch Kohlensäureexhalationen den Rückgang der auf andere Weise erzeugten Glazialbildungen bewirken soll. Diese Theorie hat von allen verwandten zweifellos die größte Beachtung erfahren und am meisten für sich. Ihr Gedankengang ist folgender:

Die Phänomene der Eiszeit würden sich wiederholen, wenn die Schneegrenze um rund 1000 m tiefer verlegt würde. Dies hinwiederum könnte eintreten, wenn die mittlere Jahrestemperatur bis zu einem Betrag von 4—5 ° C erniedrigt würde. Wir hätten eine Erklärung für die diluviale Eisbedeckung gewonnen, wenn es gelänge, einen physikalischen Faktor ausfindig zu machen, der universell die Schneegrenze um den angegebenen Betrag tiefer hinabgedrückt haben könnte. So kalkuliert die Kohlensäuretheorie und erblickt jenen gesuchten Faktor in einem wechselnden Kohlensäuregehalt der Atmosphäre, der zur Zeit 0,03% beträgt. Die Kohlensäure ist durchlässig für die solaren Licht- und Wärmestrahlen, aber undurchlässig für die dunkeln, von der Erde reflektierten Wärmestrahlen, also muß eine Steigerung ihrer Quantität in der Luft zu einer erhöhten Wärmeaufnahmefähigkeit führen, umgekehrt ihre Abnahme eine allgemeine Abnahme der atmosphärischen Erwärmung und vermehrte Wärmerückstrahlung in den

1) SARASIN, P. u. FR., Über die mutmaßliche Ursache der Eiszeit. Verh. Naturf. Ges. Basel, XIII, 1901, Heft 3.

2) HARBOE, E. G., Vulkanismus und Vereisung. Ztschr. Deutsch. geol. Ges., Berlin 1898, Bd. 50. S. 441—461; 1899, Bd. 51, S. 596—607.

3) FRECH, F., Studien über das Klima der geologischen Vergangenheit. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1902, S. 611—693.

— Über die Klimaänderungen der geologischen Vergangenheit. Compt. rend., Congr. géol. intern. 1906, Mexiko 1907, Fasc. 1, S. 299—325.

Weltraum mit sich bringen. ARRHENIUS berechnet[1]), daß eine Vermehrung der jetzigen, in der Atmosphäre enthaltenen Kohlensäuremenge um etwa das Dreifache — was die Tiere und Pflanzen in keiner Weise schädlich beeinflussen würde — in der Polarregion wieder ein milderes Klima herstellen würde mit einem gegen jetzt um ca. 8° wärmeren Jahresmittel, was den klimatischen Zuständen des Spättertiär entspräche. Ein Herabsinken der Kohlensäurequantität auf 0,5 der jetzigen Menge würde mit einem Herabgehen der Durchschnittstemperatur um 4—5° C zwischen 40° und 50° nördl. Br. beantwortet werden, die Schneegrenze um 1000 m tiefer legen, also um soviel, als zur Wiederhervorrufung des Eiszeitphänomens in unseren Breiten nötig wäre.

Diese physikalische Grundlage der Theorie wurde in der Folge heftig bekämft, die Diskussion nahm einen größeren Umfang und unschöne Form an[2]). In dem Wust von Widersprüchen ist es dem Nichtphysiker kaum möglich, sich eine Anschauung zu bilden. Im wesentlichen dreht sich der Streit darum, ob im Sinne von ÅNGSTRÖM nicht doch die heute in der Luft vorhandene Kohlensäuremenge genügt, um soviel Wärmestrahlen zu absorbieren, als überhaupt durch dieses Gas in der Luft absorbierbar sind, daß daher eine Vermehrung des CO_2 in der Luft keine Änderung der Temperatur herbeizuführen vermöchte. ÅNGSTRÖM meint[3]), daß eine Reduktion auf ein Fünftel der zur Zeit vorhandenen Menge eben noch fast vollständig dieselbe Wärmemenge aufzunehmen gestatten würde wie jetzt. RUDZKI sagt in seinem ausgezeichneten, allseitig anerkannten Werk: „Der wichtigste Einwand besteht darin, daß die Absorption der irdischen Strahlung durch die Kohlensäure bei weitem nicht proportional dem Gehalte dieses Gases in der Atmosphäre, sondern weit langsamer zunimmt. Aus den Versuchen von RUBENS und LADENBURG folgt, daß ein um 20% höherer Gehalt als der gegenwärtige die Absorption nur um ein Dreißigstel, ein um 100% höherer nur um ein Zehntel steigert.... Eine geringe Menge des Gases reicht schon hin, um die entsprechenden Strahlen zu verschlucken, aber eine weitere Steigerung des Kohlensäuregehaltes hat wenig Einfluß, da sie nur die sehr schwache allgemeine Absorption befördert. Nach ABBOTS und FOWLES Meinung ist der Einfluß der Kohlensäureabsorption wegen der Konkurrenz der Wasserdampfabsorption unbedeutend. ‚In den niederen Schichten der Atmosphäre ... ist Wasserdampf immer in genügend großer Menge vorhanden, um — ganz unabhängig von der Anwesenheit der Kohlensäure — die

1) ARRHENIUS, S., Über den Einfluß des atmosphärischen Kohlensäuregehaltes auf die Temperatur der Erdoberfläche. Bih. K. Svensk. Vetenskap. Akad. Handl., Bd. XXII. Stockholm 1896, S. 1.

2) Es kommen mehrere Arbeiten und Polemiken von KAYSER, ARRHENIUS, ÅNGSTRÖM, KOCH, SCHÄFER, EKHOLM, RUBENS, LADENBURG, V. BAHR etc. in Betracht. Ferner FRECH, Über das Klima der geologischen Perioden. N. Jahrb. f. Mineral. etc., Stuttgart 1908, Bd. II, T. 74—96. Besonders sei genannt von Gegnern: KAYSER, E., Über die ARRHENIUSsche Theorie der Eiszeiten. Centralbl. f. Mineral., Stuttgart 1913, S. 769ff. Lehrbuch der allgemeinen Geologie, 3. Aufl., Stuttgart 1909, S. 92—94. Die physikalischen Grundlagen der Kohlensäuretheorie der Klimaveränderungen. Centralbl. f. Mineral., Stuttgart 1909, S. 481—491. In allen diesen Arbeiten nähere Literaturangaben!

3) ÅNGSTRÖM, Über die Bedeutung des Wasserdampfes und der Kohlensäure bei der Absorption der Erdatmosphäre. Ann. d. Physik, Serie 4, Bd. III, Leipzig 1900, S. 720.

Digitized by Google

Erdstrahlung im Gebiete der Kohlensäureabsorptionsbänder auszulöschen. Infolgedessen kann die Kohlensäure ihre absorbierende Tätigkeit nur oberhalb 5000 m, d. i. oberhalb der Region, wo der Wasserdampf in größeren Mengen vorhanden ist, entwickeln'. Dieses Zitat macht es zugleich verständlich, warum ARRHENIUS in späteren Abhandlungen den größeren Teil des Effektes den Varationen des Wasserdampfgehaltes zuschreibt. Leider beruhen seine diesbezüglichen Rechnungen auf ziemlich unsicheren Grundlagen[1])."

Wir beschränken uns auf die rein geologisch-historische Seite des Streites und fragen uns, ob und auf welche Weise im Laufe der Erdgeschichte die Kohlensäuremenge in der Luft so beträchtlichen Schwankungen ausgesetzt war. Gibt es Anhaltspunkte für eine abwechselnde Vermehrung bezw. Verminderung?

Die Hauptvermehrungsquelle dürfte der in seiner Heftigkeit in den einzelnen Erdzeitaltern erheblich wechselnde Vulkanismus sein. Auch die Verwesungs- und Verbrennungsprozesse im Organismenleben erzeugen freie Kohlensäure. Umgekehrt entziehen die Pflanzen den von ihnen benötigten Kohlenstoff nachgewiesenermaßen ausschließlich der Atmosphäre. Die Moor-, Braunkohlen- und Steinkohlenbildung bindet ebenfalls Kohlenstoff und band ihn in der Vorwelt in ungeheuren Mengen, wenn wir an die ausgedehnten Kohlenlager denken, die im Erdboden liegen. Und nicht zum wenigsten wird und wurde Kohlensäure gebunden durch die Kalkkarbonatbildung bei der Verwitterung der Gesteine und durch die Tätigkeit der marinen Organismen.

Verwesungs- und Verbrennungsprozesse einerseits, Kohlensäureentziehung durch die Pflanzen andrerseits mögen sich wohl gegenseitig ausgleichen und auch relativ geringfügig in den überbleibenden Differenzen sein. Auch die Kalkkarbonatbildung wird man nicht überschätzen dürfen, weil wohl die größte Masse der in einem Zeitalter entstehenden Kalkkarbonatsedimente aus der Zerstörung und Verfrachtung schon vorhandener, auf dem Festland liegender hervorgeht. Immerhin kann es Zeiten mit überwiegender Kalkkarbonatbildung geben, wie das Karbon, wobei man nicht Europa allein nur im Auge haben darf. Bleibt also als positives, vermehrendes Moment die Zufuhr von Kohlensäure durch den Vulkanismus einerseits und die Bindung durch Kohlenbildung als verminderndes Moment andrerseits im wesentlichen übrig. Unmittelbar vor jeder Eiszeit müßte somit ausgedehnte Kohlenbildung reichlich Kohlensäure der Atmosphäre entzogen haben, der Vulkanismus mußte ruhen. Umgekehrt müßte der Wiedereintritt wärmerer Zeiten und das Abschmelzen der Eismassen mit erneuter starker vulkanischer Tätigkeit zusammenfallen. FRECH, dem wir den Ausbau der Kohlensäuretheorie nach ihrer geologisch-historischen Seite hin verdanken, gibt diesbezüglich folgende Tabelle[2])

(Tabelle s. S. 457.)

Vergleicht man diese Tabelle mit unseren auf S. 399ff. gegebenen Darstellungsversuchen und der Kurve auf S. 432, dann wird man sehen, daß die Kohlensäuretheorie die von uns gesuchte Ursache der Klimaschwankungen nicht in allen Punkten sein kann. Ferner bestreitet[3])

1) RUDZKI, M. P., Physik der Erde. Leipzig 1911, S. 567/68.
2) FRECH, F., Studien über das Klima der geologischen Vergangenheit. Zeitschr. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1902, S. 619/620.
3) KOKEN, E., Indisches Perm und die permische Eiszeit. N. Jahrb. f. Mineral. etc., Festband, Stuttgart 1907, S. 530/531.

Digitized by Google

z. B. Koken, daß der Eintritt von Vereisungen in Zeiten geschwächten Vulkanismus falle, vielmehr koinzidiere gesteigere vulkanische Tätigkeit mit dem Eintritt von Eiszeiten. Wenn das Algonkium ungeheuere

	Geologische Zeiten [1])	Ausdehnung und Intensität der Eruptionen [2])	Klimacharakter
	Gegenwart	+	Klima wie im oberen Pliocän
IV.	15 Pleistocän (Quartär) oder Eiszeit	fast volkommenes Aufhören jeder eruptiven Tätigkeit	Eiszeit auf beiden Hemisphären
III. 14 Tertiär.	d Pliocän	+	Oh. Pliocän: Klima — besonders in Europa — der Gegenwart entsprechend. Rasche Abkühlung.
	c Miocän	+ + +	Tropisches und subtropisches Klima in den gemäßigten, gemäßigtes Klima in den arktischen Gebieten. Ausbildung von Klimazonen
	b Oligocän	(+)	Abkühlung im Vergleich zu a und c.
	a Eocän oh.	+	Tropisches und subtropisches Klima weit verbreitet.
	a Eocän unt.	+ + +	Wahrscheinliche Verschiebung des Pols um 20° gegen Nordamerika.
II. Mesozoikum.	13 Kreide oberste	+ + + (Dekkan)	Allmähliche Herausbildung der klimatischen Zonen ist vom oberen Jura an wahrnehmbar.
	13 Kreide mittlere	(+)	
	13 Kreide untere		
	12 Jura	+	
	11 Trias	+ +	Gleichmäßiges tropisches bis warmgemäßigtes Klima auf der ganzen Erde
I. Paläozoikum.	10 c Zechstein (und Oberrotliegendes)	—	Kühleres Klima. Klimazonen: Gegensatz von nordischer und mediterraner Meeresfauna.
	10 b Mittelrotliegendes	+ + + (+)	Aufhören der Eiszeit.
	10 a Unterrotliegendes		Eiszeit, auf der Südhemisphäre ausgedehnter als im Norden der Erde. Später langsame Wärmeabnahme und parallel Rückgang der Kohlenbildung.
	9 Karbon	+	Zuerst: Gleichmäßige feuchte Temperatur, üppige Vegetation und Kohlenbildung in der Nordhemisphäre.
	8 Devon	+ +	Tropische bis subtropische, gleichmäßige Temperatur. Verbreitung einer gleichartigen marinen Tierwelt von 70 und 75° nördl. Br. bis in südl. gemäßigte Breiten sicher nachgewiesen
	7 Silur	+	
	6 Cambrium	(+)	
	1—5 Präcambrium	+ + + +	(Pflanzen unbekannt; nur spärliche Reste von wirbellosen Tieren.)

1) Die Ziffern deuten die relative Länge der Zeiten wenigstens etwas an.
2) Die Intensität des Vulkanismus ist durch die Zahl der Kreuze veranschaulicht.

Digitized by Google

Mengen vulkanischer Kohlensäure zutage gefördert hat, so ist z. B. die algonkische und unterkambrische Eiszeit nur schwer verständlich. Philippi will diese Zeitabschnitte außer Betracht gelassen sehen[1]), weil die Stratigraphie dieser Phasen noch zu ungenau bekannt ist. Dagegen falle die jungpaläozoische Vereisung, die Frech in's Unterrotliegende setze, nicht mit einem Nachlassen, sondern mit einer Steigerung der Vulkantätigkeit zusammen und das Erlöschen des Vulkanismus zur Zechsteinzeit werde von einem exzessiv heißen Wüstenklima begleitet.

Ich glaube nicht, daß Frech an diesem Punkte durchweg zu widerlegen ist. Sehen wir von allem Streit über die speziellste Datierung ab, so werden wir nirgends auf Widerspruch stoßen, wenn wir mit Frech sagen: die jungpaläozoische Vereisung folgte der starken Bindung von Kohlensäure in den Kohlenlagern der Karbonzeit. Die Klimakurve senkt sich daraufhin exzessiv ab, es entsteht die südliche Eisbedeckung. Setzte nun der Vulkanismus noch so heftig wieder ein, dann verging wegen der mit dem Vorhandensein einer so ausgedehnten Eisdecke notwendig verbundenen starken Absorption von Wärme jedenfalls eine, auch geologisch gesprochen, lange Zeit, bis eine gänzliche Befreiung der eisbedeckten Regionen eingetreten war, zumal ja bei Anreicherung der Atmosphäre mit Kohlensäure noch keineswegs die firnbildenden Niederschläge aufzuhören brauchen, die in der Umgebung der abkühlenden Eismassen vorerst noch als Schnee niedergehen. Ist kein Eis da und nimmt die Wärme etwa im Sinne der Kohlensäuretheorie durch vermindertes CO_2 ab, dann kann es sofort zur Eisbildung kommen; umgekehrt kann die Vermehrung von CO_2 aber eine vorhandene Eismasse nicht sofort gänzlich zum Verschwinden bringen. Die von Philippi bestrittene, von Frech postulierte oberkretazische Vereisung gewinnt allerdings mehr und mehr an Wahrscheinlichkeit; und selbst wenn man die Blöcke im Chalk (vgl. S. 425/26) nicht unbedingt gelten lassen wollte, würde schon die scharfe oberkretazische Zonenbildung die Annahme einer Polvereisung als sehr wahrscheinlich nahelegen.

Entschieden bestreitet Philippi die Parallelität von Vulkantätigkeit und Temperatursteigerung im Tertiär. Philippi sagt ferner, ein Höhepunkt des Vulkanismus liege im Untereocän und Miocän, die Tertiärfloren deuteten jedoch auf eine ganz allmähliche und wohl ununterbrochene Verschlechterung des Klimas vom Eocän bis zum Pliocän hin. Ebenso entspreche der quartären Eiszeit nicht ein fast völliges Versagen der Vulkantätigkeit, sondern diese war wahrscheinlich im Quartär lebhafter als heute, wenn auch schwächer als im Jungtertiär. Wir wissen aber, daß Philippi's Annahme einer kontinuierlichen Absenkung der Klimakurve vom Alteocän bis in's Quartär nicht ganz zutrifft, und gerade auf den von ihm geltend gemachten Höhepunkt vulkanischer Tätigkeit im Alteocän folgt ein wesentliches Emporschnellen der Kurve, wie unsere Fig. 76 auf S. 432 ausweist; allerdings um die Tatsache eines Absinkens der Temperatur seit dem Altmiocän bei gleichzeitigem lebhafterem Vulkanismus kommt man nicht herum, wenn man nicht gerade annehmen will, daß durch den Miocänvulkanismus weniger Kohlensäure exhaliert worden sei, als durch den alteocänen, was möglich, aber nicht beweisbar ist.

---

1) Philippi, E., Über einige paläoklimatische Probleme, a. a. O. S. 176.

Was aber die Interglazialphasen der quartären Eiszeit betrifft, so kann man mit diesen das Wesentliche der Kohlensäuretheorie nicht widerlegen. Dieses Wesentliche liegt aber darin, daß auf intensive Kohlenstoffbildung Abkühlung bezw. Glazialbildung erfolgt und daß der erhöhte Vulkanismus auch einen erneuten Rückgang des Eises nach sich zieht, unter den soeben gemachten einschränkenden Bedingungen nämlich. Frech hat seine Theorie nun selbst unnötig mit Schwierigkeiten belastet dadurch, daß er sie mit der Frage nach der Einheit der Eiszeit beschwerte, und um der Konsequenz seiner Theorie willen richtige Interglazialphasen — in des Begriffes ursprünglichster Bedeutung — leugnete[1]). Das war ein Fehler, denn um die Interglazialzeiten kommt man nun einmal nicht herum. Gewiß sind lokal die Vorstöße und Rückzüge verschieden, gemäß der verschiedenen Konfiguration des Ursprunges- und Bedeckungsgebietes. Aber, wie Brückner in der S. 445 zitierten Besprechung der Arbeit von Lamansky ausführt, zeigt sich in Nordamerika, daß die beiden älteren Eiszeiten, das Präkansan und das Kansan von den beiden jüngeren, dem Illinoian und dem Wisconsian durch eine weit längere Interglazialzeit getrennt sind, als sie sich zwischen diese Eisphasen selbst einschieben. Das ist analog den europäischen bezw. alpinen Verhältnissen, wo zwischen Riß- und Würmeiszeit ebenfalls die größte Periode liegt (vgl. Fig. 77 auf S. 437). Diese Identität der Perioden spricht nicht nur für eine Gleichzeitigkeit der Vereisungen in den besagten Gebieten, sondern auch für das wirkliche Vorhandensein von mindestens einer allgemeinen interglazialen Phase größter Verbreitung, da wir an dem Riß-Würminterglazial doch jetzt gewiß nichtmehr zweifeln dürfen (vgl. S. 445 die Ansicht Harmers über das Alternieren diesseits und jenseits des Ozeans).

Es scheint nun, daß für die Interglazialzeiten andere Ursachen noch gefunden werden müssen. Denn eine noch so große Schwankung in der Eisbedeckung, wie sie eine Interglazialzeit, die wir mit Recht so nennen sollen, repräsentiert, ist ihrem Wesen nach doch etwas ganz anderes, als die äonenwährenden Zeiträume zwischen zwei Eiszeiten, wie sie durch den Zwischenraum zwischen Perm und Diluvium etwa repräsentiert sind. Es liegt nahe, eine Interglazialzeit zu definieren als die Wirkung einer Ursache, welche in den bestehenden Eiszeitzustand vorübergehend klimatische Bedingungen einführt, die einen Rückzug des Eises erzwingen und bei deren Aufhören die ununterbrochen latent weiterbestehende eigentliche Eiszeitursache wieder praktisch zur Wirkung gelangt. Eine Interglazialzeit wäre nach dieser Definition demnach nicht wesensgleich mit einem Wegfall der Eiszeitursache, sondern bestünde in einem Hinzutreten eines neuen Momentes und dessen vorübergehend dominierender Wirkung. Das definitive Ende einer Eiszeit erst würde dann in einem Wegfall der primären Eiszeitursache bestehen.

Würde sich also die Kohlensäuretheorie, unbekümmert um etwaige Interglazialzeiten, darauf beschränken, den Eintritt der Eiszeiten und Wärmephasen im Großen zu erklären, so ließe sich vom geologischen

1) Auf demselben Standpunkte stehen u. a.: Geinitz, F. E., Die Eiszeit. Braunschweig 1906; Lepsius, R., Die Einheit und die Ursachen der diluvialen Eiszeit in den Alpen. Abh. großh. hess. geol. Landesanst. Bd. V, Heft 1. Darmstadt 1910; Aigner, D., Das Tölzer Diluvium. Landesk. Forschungen Münch. Geogr. Ges. 1910, Heft 7.

Standpunkte aus vielleicht weniger gegen sie einwenden. Freilich so gut wie die Erhebungstheorie erklärt sie das Eintreten von Eiszeiten nicht und noch weniger das Aufhören derselben. Es hat vielmehr den Anschein, als ob mit ihr eher ein sekundäres und vielleicht nur gelegentlich mitsprechendes Moment ergriffen sei, das ebenfalls nur beim Zusammentreffen mit irgend welchen anderen Umständen deren Wirkung steigern oder schwächen könnte, ohne selbst primär ausschlaggebend zu sein.

Ganz das Gleiche läßt sich nach DAVID auch über die von DUBOIS aufgestellte Ionisationstheorie sagen. Der Betrag der Niederschläge hängt vom Ionisationsgrad der Luft ab, und dieser kann von Zeit zu Zeit wechseln und so den Schneefall an bestimmten Stellen vermehren oder vermindern[1]), aber nicht selbständig eine Vereisung hervorrufen, weil die Steigerung bezw. Verminderung sich nur auf die Gegenden erstreckt, in denen schon vorher aus anderen Gründen Schneefälle stattfanden. Es ist also nur ein Hilfsfaktor, nicht die ausschließliche Ursache der Eisbildung. Nebenbei bemerkt ist es aber nicht ausgeschlossen, daß der die Luft ionisierende Radiumgehalt der äußersten Lagen der Erdkruste und seine Wärmeentwicklung zu gewissen Zeiten eine Beeinflussung des Klimas und der Verteilung der Organismen von sich aus bewirkt hat. Und da weitgehende Verlagerungen der Erdkruste durch tektonische Bewegungen auch eine andere Verteilung radiumhaltiger Gesteine und Krustenteile notwendigerweise bewirken müssen, so kann man an der Wahrscheinlichkeit oder wenigstens Möglichkeit nicht vorübergehen, daß auch dieser Faktor bei der Lösung der vorweltlichen Klimafrage noch seine Rolle spielen wird, zumal die Radioaktivität nach v. WOLFF gerade auf die Oberflächenschale der Erde beschränkt sein muß[2]).

Mehr läßt sich meines Erachtens zur Zeit jenen Theorien nicht konzedieren. Es ist nichts übereilter, als in solchen noch ganz und gar ungeklärten Fragen, für die noch niemand eine zureichende Lösung hat und haben kann, einseitig auf ein einziges Prinzip zu schwören, ebenso wie es falsch ist, ein solches Prinzip wegen einzelner Unstimmigkeiten ganz abzulehnen. Man muß zunächst — das ist heute noch der Stand der Sache — alle in Betracht kommenden Möglichkeiten sich offenhalten, weil nicht nur das Fehlschlagen aller Universalerklärungen, sondern auch die paläoklimatischen Spezialerscheinungen dafür sprechen, daß nur durch Kombination vieler Faktoren das Schwanken des vorweltlichen Klimas wird erklärt werden können.

d) Veränderung astronomischer Konstellationen.

Wir haben oben als vermutliche Eiszeitursache klimatische Änderungen infolge solarer Veränderungen angesehen unter der Voraussetzung eines lebhaft gegliederten Erdreliefs. Es liegt daher nahe, bei der Vielzahl wenigstens der diluvialen Interglazialzeiten, welche etwas rasch aufeinanderfolgend Periodisches an sich haben, an ein astronomisches Moment zu denken, das zur Paralysierung der inzwischen latent weiterbestehenden Eiszeitursache hinzutritt. Und hier scheint nur der Platz zu sein, an dem die zur Erklärung der ganzen Eiszeit als solcher schon vielfach benützten, aber immer wieder zurückgewiesenen

1) DAVID, T. W. R., Conditions of climate etc., a. a. O. S. 476.

2) WOLFF, F. v., Die vulkanische Kraft und die radioaktiven Vorgänge in der Erde. Ztschr. deutsch. geol. Ges. Berlin 1908, Bd. 60, S. 449.

Digitized by Google

astronomischen Theorien vielleicht in Zukunft einige Bedeutung gewinnen könnten. Diese seien hier kurz besprochen und auf ihre Brauchbarkeit geprüft.

Die astronomischen Tatsachen[1]), auf denen sich derartige Gedankengänge aufbauen, sind folgende: Die Erdachse steht zur Erdbahn in einer Neigung (Ekliptikschiefe) von 66° 32′ 28″, und da sich die Erdachse im ganzen Jahr parallel bleibt, kommen die auf beiden Hemisphären abwechselnden Jahreszeiten zustande. Die Erdbahn ist aber kein Kreis, sondern eine Ellipse, deren einer Brennpunkt die Sonne ist; die Erde befindet sich daher einmal im Jahre in größerer Sonnennähe (Perihel) und einmal in größerer Sonnenferne (Aphel). Im Aphel ist sie der Sonne um 700000 geogr. Meilen ferner als im Perihel. Die von der Verbindungslinie des Erd- und Sonnenmittelpunktes bestrichenen Flächen müssen in gleichen Zeiten gleich groß sein und das bedeutet, daß die Erde in Sonnennähe schneller läuft als in Sonnenferne. Wenn wir auf unserer Halbkugel Winter haben, sind wir in Sonnennähe, und wenn wir Sommer haben, in Sonnenferne. Unsere Winter sind darum nicht nur theoretisch milder, sondern auch um 8 Tage kürzer als die der Südhemisphäre, und unsere Sommer entsprechend länger, die ganze,

---

1) Poisson vermutete, daß vielleicht unser ganzes Sonnensystem auf seiner Bahn um die unbekannte Zentralsonne durch verschieden temperierte Gegenden des Weltraumes komme und daß beim Verweilen in den besonders kalten Teilen Eiszeiten entstünden. (Zittel, K. A. v., Geschichte der Geologie und Paläontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts, München 1899, S. 352.) Nun ist ja die Weltraumtemperatur nach der üblichen Annahme dem absoluten Nullpunkte gleich, und wenn wir anders temperierte Raumteile passieren sollten, so kann es sich im einfachsten Falle um wärmere, nicht um kältere handeln, also um eine zeitweise Erwärmung der Gesamterdtemperatur, nicht um eine Abkühlung. Vielmehr müßte diese, also der Eiszeitzustand im Sinne der Poisson'schen Hypothese, die Regel sein, und die warme Phase die Ausnahme. Denn Arldt (Arldt, Th., Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt, Leipzig 1907, S. 483) sagt mit Recht, daß die lokale Erwärmung des Weltraumes allenfalls nur mit der Nähe einer Sonne begründet werden kann, daß es aber doch höchst unwahrscheinlich ist, daß so oft, wie das angesichts der langen Wärmeperioden in der Erdgeschichte nötig wäre, unserem Sonnensystem eine andere Sonne begegnet sei und, fügen wir hinzu, in seiner Nähe geblieben wäre. Das müßte übrigens ja auch heutigen Tages der Fall sein, wo die Eisbedeckung so gewaltig gegenüber der Diluvialzeit zurückgegangen ist. Aber wir sehen ja, daß wir von unserem nächsten Fixstern so weit entfernt sind, daß seine Wärmeausstrahlung keinen Einfluß auf unser rein solar bedingtes Klima hat. Auch Weltnebel sind nicht in unserer Nähe und Kometenschweife haben keinen oder höchstens nur ganz vorübergehenden Einfluß. Eher könnte man also mit der Umkehrung der Poisson'schen Theorie die Wärmephasen im Klima der Erde erklären, statt die Eiszeiten.

Indessen gibt es noch eine andere Möglichkeit, auf die Nölke hinweist, die allerdings nicht minder hypothetisch ist. Die Erde soll durch einen kosmischen Nebel hindurchgegangen sein, der einen Teil der Licht- und Wärmestrahlen absorbiert und so eine Abkühlung hervorgerufen hätte. Stellen geringerer Dichtigkeit in jenem Nebel würden die Interglazialzeiten erklären. (Nölke, F., Die Entstehung der Eiszeiten. Deutsche geogr. Blätter, Bd. XXXII. Bremen 1909. Nach einem Referat von F. Heritsch im Geol. Zentralbl., Bd. XIV, Berlin 1910, S. 169.) Man kann dagegen einwenden, daß die der neuesten Zeit vorausgegangene postglaziale Wärmephase als große, einer Interglazialzeit entsprechende Klimaschwankung zweifellos eine andere Ursache hat und daß wir uns jetzt in einer kälteren Phase, aber nicht in einem Weltnebel befinden.

Culverwell schließlich meint in einer der Bekämpfung Crolls gewidmeten Abhandlung, daß durch das Eindringen der Erde in gasgefüllte Regionen des Weltraumes der durchschnittliche Luftdruck sich gesteigert und so das Klima verbessert haben könnte. (Culverwell, E. P., A critism of astronomical theory of ice age etc. Geol. Magaz. Dec. IV, Vol. 2, London 1895, S. 64.)

der Nordhemisphäre zufallende Jahreswärmemenge daher theoretisch größer, als die der Südhalbkugel gespendete.

Aber die Stellung der Erdachse bleibt nicht konstant, sondern sie beschreibt innerhalb 21000 Jahren einen Doppelkegel, so daß nach Verlauf von 10500 Jahren die umgekehrte Situation vorliegt: die Nordhalbkugel hat ihren Winter im Aphel, und der Winter wird um die entsprechende Anzahl Tage länger sein[1]). Die Exzentrizität der Erdbahn ist nicht konstant; der längere Durchmesser der Ellipse, der heute $^1/_{60}$ beträgt, kann zwischen 0,003 und 0,0788 schwanken. Bei diesem letzteren, höchsten Exzentrizitätswert beträgt der Unterschied der Distanz zwischen dem äußersten Perihel- und Aphelpunkt 26000000 km, während er heutigen Tages, wo wir uns einem Exzentrizitätsminimum zubewegen, nur 5000000 km ausmacht. In der Hemisphäre, für welche während eines Exzentrizitätsmaximums der Winter in's Aphel fällt, ist dieser nicht nur länger als das Sommerhalbjahr, sondern es wird sich auch der Schnee zu Eis anhäufen, weil der darauffolgende relativ kürzere Sommer jeweils nicht genügt, die in jedem Winter angesammelten Schnee- und Eismassen wieder aufzutauen; denn selbst durch sein Zusammenfallen mit der Perihelstellung ist doch die ganze Wärme absorbiert von den Schmelzmassen, so daß die Temperatur über dem Eis zunächst keine Steigerung erfahren kann. Es bleiben große Reste übrig, die sich Jahr für Jahr im selben Sinne häufen und vermehren, und so kommt es zu einer „Eiszeit" für die betreffende Hemisphäre, ohne daß wesentliche Temperaturverminderungen notwendig sind[2]). Die durch die Eisschmelze hervorgerufene Luftfeuchtigkeit verursacht Nebel- und Wolkenbildung, die hinwiederum abkühlend wirkt, sei es durch neue Niederschläge, sei es durch Abhaltung der Sonnenstrahlen. Auch die Winde und Meeresströmungen verstärken sich in einem für die vereiste Hemisphäre ungünstigen Sinne. Die Dauerwinde müssen in der Vereisungszone heftiger werden durch den schroffen Gegensatz der Klimadifferenz zwischen äquatorialen und polaren Gebieten, was eine weitere Abkühlung hervorruft; die warmen Wasser der Äquatorialzone strömen erst recht gegen die wärmere Hemisphäre ab, deren Temperatur noch erhöhend. So wird der Gegensatz zwischen beiden Regionen nur noch verstärkt, und das hält an, bis die entgegengesetzte Präzessionsstellung nach 10500 Jahren erreicht ist. Nach Adhémar verlegt[3]) zudem noch die Gewichtsdifferenz zwischen der vereisten und unvereisten Polarzone den Erdschwerpunkt, was eine Verlegung der Hydrosphäre im Gefolge hat, die nach der durch Eis belasteten Hemisphäre gravitiert und dort weitere Feuchtigkeitsansammlungen in der Luft fördert. Auch der Äquator, d. i. die Zone relativ größter Wärme, wird vom vereisten Pol wegverlegt und mehr der wärmeren Zone zugerückt, so daß andrerseits auch dort das verdampfende Wasser ein

1) Die Periode der Präzession umfaßt eigentlich ca. 25800 Jahre, was jedoch durch anderweitige Bewegungen auf die genannte Zahl reduziert wird. (Nach M. P. Rudzki, Physik der Erde, Leipzig 1911, S. 554/555.)

2) Croll, J., Climate and time in their geological relations. London 1875. 4. Edit. London 1890, S. 312—328.

— On some controverted points in geological climatology. Philos. Magaz. London 1882. Oktoberheft. Die Originalarbeiten von Croll blieben mir leider bisher unzugänglich. Ich benütze zahlreiche hierüber vorhandene Referate und auch Inhaltsangaben in anderen Werken.

3) Adhémar, J., Les révolutions de la mer, déluges périodiques (Paris 1842). 2. Édit., Paris 1860, S. 90.

Digitized by Google

milderes, weil feuchteres Klima erzeugt. Das wird dann wieder im speziellen auf den Atlantischen Ozean anzuwenden versucht, um das Vorwiegen der diluvialen Glazialerscheinung in dessen Umgebung zu erklären.

Von fast demselben Gedanken wie CROLL ausgehend, läßt PENCK astronomische, meteorologische und geographische Faktoren zu einer nur in gewissen Fällen eiszeiterzeugenden Wirkung zusammentreffen und sieht zunächst als Folge der Exzentrizitätsänderung eine Beeinflussung der herrschenden Winde und durch diese eine Beeinflussung der die Wärmeverteilung hauptsächlich regelnden Meeresströmungen vor[1]). Die Verteilung von Wasser und Land beeinflußt die klimatischen Verhältnisse nicht direkt, sondern nur indirekt durch die Ablenkung der Meeresströme. In erster Linie bestimmt die Wärmezirkulation der Meeresströme in höheren Breiten die lokale Klimavariation gegenüber den solaren Wärmezonen, und wenn eine größere Veränderung der Wasser- und Landverteilung das Klima wesentlich abänderte, so würde dies in ganz besonderem Maße durch die eben im Zusammenhang damit hervorgebrachte Änderung der Wärmezirkulation infolge veränderter Meeresströmungen geschehen. Da die Eiszeit entstand und verschwand, ohne daß wesentliche Veränderungen in der Verteilung von Wasser und Land statthatten, weil ja die quartären Vergletscherungen, wie wir wissen, sich auf dem heute noch bestehenden Boden entwickelten und die heute noch bestehenden orographischen Verhältnisse ihnen ihren Weg vorgeschrieben haben, so liegt es nach PENCK nahe, zu fragen, ob bei der einmal bestehenden Verteilung von Land und Meer die Meeresströmungen Variationen unterworfen sein können?

Die Meeresströmungen sind das Produkt der herrschenden Winde, und so fällt diese Frage zusammen mit der, ob bei gleichbleibender Verteilung von Wasser und Land sich die Winde verändern können? Die bejahende Antwort gibt ihm das CROLL'sche Prinzip mit dem Unterschied, daß nach diesem die herrschenden Winde indirekt, nach PENCK direkt durch die wechselnde Exzentrizität der Erdbahn beeinflußt werden. Nach CROLL wird auf der Erdhälfte, deren Winter in's Aphel fällt, Eis angesammelt, das erkältend auf seine Umgebung wirkt, und der hierdurch gesteigerte Temperaturgegensatz zwischen jenen eistragenden Breiten und dem Äquator veranlaßt eine Steigerung der Intensität der Passate, die von der eistragenden Halbkugel nach dem Äquator wehen. Durch ihre größere Schnelligkeit und Stärke dringen sie über den Äquator vor nach der Südhalbkugel und verschieben dorthin die Kalmenzone. Diese Verschiebung nimmt auch PENCK an, und zwar als direkte Ursache der durch den Wärmeüberschuß der einen über die andere Halbkugel erzeugten Temperaturdifferenz. In Perioden großer Exzentrizität, wenn eine Halbkugel beträchtlich länger beschienen ist, als die andere, wird der Gegensatz und damit die Verschiebung des Kalmengürtels besonders groß sein. Denn auf die Halbkugel, auf welche dieser letztere verlegt wird, strömt daher noch ein Teil der Wärme der anderen ab durch die Winde und Meeresströmungen. Die aus astronomischen Gründen primär schon kältere Halbkugel wird daher erst recht kaltes maritimes Klima haben, die letztere erst recht

1) PENCK, A., Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluß auf die Bodengestaltung, Leipzig 1882, S. 444 ff.

warmes. Jenes ist nach Woeikoff einer Vereisung günstig, und ist diese eingetreten, dann wird durch die aus höheren Breiten vordringende Kälte anderswo Abkühlung hingetragen.

Wenn nun damit auch der eigentlichen Eiszeitursache rhythmische Periodizität zugeschrieben wird, so braucht nach Penck durchaus nicht jedesmal abwechselnd die Eiszeit in Erscheinung zu treten; vielmehr ist das wirkliche Auftreten von Gletschern an Gebirge geknüpft, und auch die eiszeitlichen Eismassen gingen, so weit sie auch in's Flachland vorstießen, von Gebirgen aus. Fehlen diese, so fehlen auch die Vergletscherungen. „Abgesehen von einer Störung in der Wärmezirkulation der Erde gehören also bestimmte geographische Momente zur Erzeugung gewaltiger Vergletscherungen, zu den Existenzbedingungen von Eiszeiten, und wenn man sich noch erinnert, in welch' hohem Maße die Wärmezirkulation auf der Erde durch geographische Züge bedingt wird, so muß man eingestehen, daß es des wohl äußerst selten vorkommenden Zusammenwirkens verschiedenster, teils meteorologischer, teils geographischer Tatsachen bedarf, um eine Eiszeit zu erzeugen und daß, wenn auch die eine Ursache periodisch wiederkehrt, das Glazialphänomen nicht in regelmäßigen Intervallen aufzutreten braucht.“ Es brauchen auch keineswegs warme Interglazialzeiten mit den Vereisungen unbedingt zu wechseln. Denn wenn sich enorme Eismassen aufgehäuft haben, so kann die ganze Wärmemenge der folgenden Perihelzeit für das Abschmelzen in Anspruch genommen werden, so daß nur ein Rückgang, keine Erwärmung eine solche Interglazialzeit charakterisiert.

Es ist ein ganz unzureichendes Argument, wenn immer wieder gegen die Croll'sche Theorie die Gleichzeitigkeit der diluvialen Vereisung in's Feld geführt wird. Abgesehen davon, daß diese Gleichzeitigkeit auch nur ein Schein sein kann, wie S. 442 ff. auseinandergesetzt wurde, muß ja gerade bei dieser Theorie ein Augenblick eintreten, wo beide Polarzonen Eisdecken tragen. Angenommen einmal, die Theorie habe Recht und eine Hemisphäre sei entsprechend vereist; es tritt nun der Augenblick ein, wo der Äquinoktialpunkt den halben Kreis durchlaufen hat und in die andere Hälfte übergeht. Damit beginnt die Schmelzung auf der einen, bisher vereisten Polarregion und zugleich die allmähliche Eisansammlung auf der anderen. Es kommt dann schließlich ein Augenblick, wo sich beide Vereisungen, die abschmelzende sowohl, wie die zunehmende, an Ausdehnung gleichen. Also selbst wenn wir augenscheinlich Beweise dafür beibringen, daß zur Diluvialzeit beide Polarregionen bezw. beide Hemisphären Eismäntel trugen, spricht das immer noch nicht gegen die Croll'sche Theorie.

Auch die Penck'sche Theorie hat zur Folge eine Ungleichzeitigkeit der Vereisungen auf beiden Hemisphären, und man muß daher mit Wallace annehmen, daß „die Perioden großer Exzentrizität nur anfänglich durch Eisanhäufung ausgezeichnet werden, welche auf beiden Halbkugeln alternieren; später jedoch, wenn die Eismassen so beträchtlich werden, daß sie in einer Interglazialzeit nicht weggeschmolzen werden können, sammelt sich auf beiden Hemisphären zugleich Eis an, und in ihrem weiteren Verlauf werden die Perioden großer Exzentrizität durch gleichzeitige Vergletscherung auf beiden Halbkugeln charakterisiert.

Blytt[1]) hat, gerade umgekehrt wie Croll und Penck, nachzuweisen versucht, daß im europäischen Norden die Golfstromwärme im Aphelwinter nicht abnimmt, sondern zunimmt, und zwar folgendermaßen: Die winterliche Abkühlung in höheren Breiten verursacht hohen Luftdruck über den Festländern; über dem weniger abgekühlten Meer entsteht ein Minimum, denn die Luft strömt in den höheren Luftschichten nach den abgekühlten Gegenden, um die durch den niedersteigenden Luftstrom entstehende Druckdifferenz auszugleichen; demgemäß bildet sich über dem nordischen Meere im Winter niedriger Luftdruck. Dieser aber bedingt ein Vorherrschen südwestlicher Winde im nordatlantischen Meere und im westlichen Europa, die übrigens im wesentlichen das ganze Jahr hindurch anhalten. Der warme nordatlantische Strom fließt in derselben Richtung und verdankt diesen Winden hauptsächlich seine Entstehung. Er ist die Hauptursache für das milde Klima Westeuropas. So ist also die Abkühlung der großen Kontinente die eigentliche Ursache der dortigen milden Winter, und gerade in dieser Jahreshälfte ist die Wirkung am stärksten. Da nun die Länge des Sommers und Winters mit dem Verlauf des Äquinoktialpunktes schwankt, ferner die Windstärke im Winter infolge der größeren Abkühlungsdifferenz zwischen Meer und Kontinent größer ist, als im Sommer, und die Stärke der Meeresströmungen von der mittleren Windstärke abhängt, so wird auch der warme Meeresstrom zunehmen, wenn der Winter für die Nordhalbkugel in's Aphel fällt, es muß also im Norden in dieser Zeit wärmer werden, und dies erst recht bei hoher Erdhahnexzentrizität.

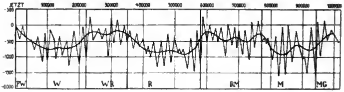
Nun bringt ja allerdings der verstärkte Zustrom wärmeren Meereswassers nach dem Norden auch mehr Feuchtigkeit mit, die eine Hauptquelle für die Entstehung des Eises ist, und so kommt es darauf an, daß Wärme und Feuchtigkeit eben gerade in dem Verhältnis zu einander stehen, daß dieses ein Optimum für die Ausbildung von ausgedehnten Eisdecken wird. Wird dieses labile Verhältnis durch das Überwiegen des einen Faktors zu ungunsten des anderen gestört, dann ist die glazialerzeugende „Ursache" weggefallen. Gegen die Croll'sche Theorie spricht anscheinend auch die Tatsache, daß die Interglazialzeiten verschiedene Dauer hatten. Um diese Schwierigkeit für die Theorie zu umgehen, könnte man auf eine Untersuchung von Pilgrim verweisen, der durch rechnerische Behandlung der Beziehungen zwischen den Schwankungen der Ekliptikschiefe, der Präzession und Exzentrizität auf die Niederschlagmengen und Temperatur einer bestimmten Gegend und damit auf die Lage der Schneegrenze für 1 Million Jahre zu der nebenstehend nach Supan wiedergegebenen Kurve (Fig. 79) gelangt. Er kommt so zu dem Begriff der „astronomischen" Eiszeit, die sich aber nicht in Wirklichkeit glazial zu äußern braucht. Denn es kommen da noch verschiedene Bedingungen hinzu. Hat sich nämlich durch Niederschlags- und Temperaturveränderung die Schneegrenze gesenkt, so wirkt die dadurch verursachte Abkühlung weiterhin senkend. Durch entstandene Eismassen wird eine weitere Abkühlung und Senkung der Schneegrenze erzeugt. Tritt nun eine astronomische Interglazialzeit ein, dann kann eine zuvor entstandene Inlandeismasse diese Periode möglicherweise überdauern, so daß „wirkliche", d. h. also praktisch

1) Blytt, A., Kurze Übersicht meiner Hypothese von der geologischen Zeitrechnung. Geol. Förening. Stockholm Förhandl., 1890, Bd. XII, S. 39—41.

in Erscheinung tretende Interglazialzeiten nur dann eintreten, wenn sehr lange Zeiträume hindurch keine erheblichen Schwankungen der Schneegrenze vorkommen.

In dieser Weise könnte man auch der Theorie Croll's zu Hilfe kommen und sagen: wenn sonstige Verhältnisse, wie die Verteilung von Wasser und Land, günstig liegen, kann die Vereisung aus astronomischen Ursachen praktisch eintreten, andernfalls nicht, und damit würde das lange Ausfallen von Eiszeiten und die verschiedene Dauer von Interglazialzeiten erklärlich werden. Die weitere Frage wäre dann aber, ob Interglazialzeiten von derselben Ursache ausgehen, wie das endgültige Verschwinden einer Eiszeit durch lange geologische Perioden — eine Frage, die schon S. 459 berührt wurde.

Jedenfalls halte ich es bei der vorerst noch unumgänglichen, rein spekulativen Behandlung der Eiszeitfrage für wertvoll, daß Pilgrim[1]) den Begriff der „astronomischen" Eiszeit einführt, und es scheint mir wichtig, beim Aufsuchen der uns noch unbekannten Eiszeitursachen stets die Möglichkeit im Auge zu behalten, daß das zeitlich-konkrete Erscheinen und Verschwinden, oder das Ausbleiben des Glazialphänomens nicht unbedingt mit dem Auftreten oder Ausbleiben der Hauptursache koindizieren muß. Es kommt jedenfalls sehr wesentlich auf die begleitenden Umstände an. Bei der jetzt festgestellten öfteren Wiederkehr von Eiszeiten in der Erdgeschichte liegt es nahe,



Figur 79.

dahinter eine regelmäßige, periodische Ursache zu vermuten, deren Wirkung aber gelegentlich praktisch ausbleiben kann, wie die ganz ungleichartigen zeitlichen Zwischenräume zwischen den großen Vereisungen in der historischen Erdgeschichte anzunehmen weiterhin nahelegen.

Was den Einfluß von Schwankungen in den astronomischen Konstellationen auf das Klima anbelangt, so macht Herz, der sich ebenfalls wie Pilgrim, um eine rechnerische Behandlung des Eiszeitproblems bemüht, darauf aufmerksam[2]), daß die Hemisphäre, welche im Aphel ihren Sommer hat — der somit länger ist, als jener der anderen — trotzdem und auch trotz ihres wärmeren Perihelwinters praktisch nicht mehr Wärme bekommt, weil die Absorption der Wärme keine Funktion der Zeit der Einstrahlung ist; denn die Erde dreht sich während der Bestrahlung, die daher nicht permanent ist. Nur wenn die Tageslängen bei sehr großen Änderungen der Entfernung von der Sonne stark verschieden würden, was aber nicht der Fall ist, würde sich der

1) Pilgrim, L., Versuch einer rechnerischen Behandlung des Eiszeitproblems. Jahresh. Verein. vaterl. Naturkunde Württemberg 1904, Bd. 60, S. 26—117; sowie ein Referat des Autors im Geol. Zentralbl., Bd. IV, Berlin 1904, S. 575—577.

2) Herz, N., Die Eiszeiten und ihre Ursachen, Leipzig u. Wien 1909, S. 259.

Unterschied an Wärmezufuhr auf beiden Hemisphären bemerkbar machen; so aber ist das jeder Hemisphäre zugeführte Wärmequantum unabhängig von der Dauer des Sommer- bezw. Winterhalbjahres.

Ob diese Anschauung Herz' vereinbar ist mit dem von Dove erbrachten Nachweis[1]), daß die Nordhalbkugel es ist, deren Temperaturverhältnisse maßgebend sind für Durchschnittstemperatur eines Jahres auf der ganzen Erde, und ob in dieser Tatsache nicht eben doch die Folgen des momentanen Standes der Präzession der Äquinoktien zum Ausdruck gelangt, entzieht sich meiner Beurteilung. Daß aber die Änderung der Ekliptikschiefe, die Pilgrim mit in Reschnung setzt, wahrscheinlich gar nicht für das Ausbrechen oder Zurückgehen einer Eiszeit in Betracht kommt, ja sich rechnerisch in ihrer Wirkung auf die Temperatur gar nicht erfassen läßt, hat Rudzki schon festgelegt: „Mit wachsender Ekliptikschiefe muß der Gegensatz zwischen den Jahreszeiten auf beiden Halbkugeln gleichzeitig wachsen. Die Gleichzeitigkeit und die Gleichheit des Sinnes der Klimaänderungen auf beiden Halbkugeln entspricht den Forderungen der Glazialforscher, aber der Charakter der Änderungen entspricht ihnen nicht. Das, was die Glazialforscher behufs Erklärung der Eiszeiten brauchen, ist eine allgemeine Erniedrigung der Temperaturen, besonders der Sommertemperaturen. Unterdeß veranlaßt das Wachsen der Ekliptikschiefe eine Verschärfung der Gegensätze zwischen der Winter- und Sommertemperatur: je größer die Ekliptikschiefe, umso strenger der Winter, umso wärmer der Sommer — je kleiner die Ekliptikschiefe, umso milder beide Jahreszeiten. Infolgedessen scheinen die Änderungen der Ekliptikschiefe zur Erklärung der Glazial- und Interglazialzeiten wenig geeignet zu sein ... Wir sind nicht imstande, den Einfluß einer gegebenen Änderung der Ekliptikschiefe auf die Temperatur der Erdoberfläche und auf andere meteorologische Elemente rechnerisch zu verfolgen."[2])

Immerhin, wenn wir nicht an einer primär verursachten Gleichzeitigkeit der Vereisungen auf beiden Hemisphären, gegen die die permische sogar entschieden spricht, festhalten, so würde eine Verminderung der Ekliptikschiefe eine der Bedingungen schaffen, unter denen das Glazialphänomen in Erscheinung treten kann: die Abminderung der jahreszeitlichen Gegensätze.

Polverlegungen als Erklärung der Eiszeiten anzunehmen, hat gar keinen Zweck. Denn dann müßten die Pole immer vereist gewesen sein. Nur die verschiedene Lage der Eismassen kann allenfalls damit erklärt werden, so z. B. wenn wir im Diluvium Nordamerika bis zum 40. Breitegrad herab mit nordischem Inlandeis bedeckt sehen, Europa bis zum 48. Breitegrad, und wenn wir gleichzeitig in denselben Breiten in Japan eine Marinfauna antreffen, die auf größere Wärme deutet, als sie heutzutage dort herrscht[3]). Andrerseits führt neuestens Klute gegen eine Polverlagerung, während der Eiszeit die Tatsache in's Feld[4]), daß der heutige Verlauf der Schneegrenze am Kilimandscharo jenem der Eiszeit entspricht, und daß am Meer die einzigen Gletscherspuren auf der Südwestseite liegen. Der heutige Verlauf der Schneegrenze in jenem

1) Eckardt, W. R., a. a. O. S. 100.
2) Rudzki, M. P., Physik der Erde, Leipzig 1911, S. 556.
3) Yokoyama, M., Climatic changes in Japan since the pliocene epoch. Journ. of College of Sci. Imp. Univ. Tokyo 1911, Vol. XXXII, S. 1—16.
4) Notiz von F. Levy über den 19. Deutsch. Geographentag 1914 zu Straßburg Els. Mitteil d. Geogr. Ges. München 1914, Bd. 9, S. 497.

Digitized by Google

Gebiete ist aber abhängig von der Richtung der Passatwinde, und da diese während der Eiszeit demnach die gleiche gewesen sein muß, so kann auch der Pol nicht anders gelegen haben, weil sich sonst auch die Passate hätten verschieben müssen. Wenn allerdings KOKEN sagt, der gewichtigste Einwand gegen die Idee, die permische Eiszeit durch eine Verlegung des Südpoles zwischen Südafrika, Indien und Australien zu erklären, bleibe der, daß dann der Gegenpol in Gebiete zu liegen komme, in denen bisher keine karbonischen oder permischen Glazialerscheinungen nachgewiesen werden konnten[1]), so muß immerhin an die auf S. 105 besprochenen Möglichkeiten gedacht werden, daß infolge krustaler partieller Verschiebungen jener hypothetische Gegenpol nicht unbedingt eine inbezug auf die jetzige Erdoberfläche antipodische Lage gehabt zu haben braucht und demnach in den Pazifik gefallen sein kann.

e) Ursachen für das ausgeglichene Klima.

Das Eine kann man mit Bestimmtheit sagen: Wer die Eiszeiten rein meteorologisch erklärt, derart, daß etwa infolge gewisser geographischer Zustände die Luftdruckmaxima und -minima so verteilt waren, daß dadurch Niederschlags- und Wärmeverhältnisse herbeigeführt wurden, die ohne Hinzutreten eines sonstigen Faktors Vereisungen bewirkten, der muß implicite zugeben, daß diese primär nur lokal entstehen können, und daß alle übrigen Eisherde sekundärer Natur, die scheinbar einheitlichen Vereisungen also genetisch ungleichzeitig sind. Die Gleichartigkeit des Klimas zu anderen Zeiten über die ganze Erde hin, oder wenigstens die milde Temperatur auch in den Polargegenden ist durch entsprechende Luftströmungen Meeresströmungen und dadurch beeinflußte Temperaturausgleiche und Feuchtigkeitsverteilungen am plausibelsten zu erklären.

Wenn wir beispielsweise die Abnahme der Sonnenstrahlungsintensität als Ursache der Vereisung ansehen, die dann eintritt, wenn die Konfiguration der Erdoberfläche entsprechend gestaltet ist, dann müßte das ausgeglichene Klima, wie wir es vermutlich im älteren und mittleren Mesozoikum besaßen, auf Rechnung einer besonders starken Sonnenbestrahlung gesetzt werden. Bei dieser Annahme tut sich aber folgende Schwierigkeit auf. Bei der Form der Erde und dem stets parallelen Auftreffen der Sonnenstrahlen müssen sich primär immerfort Zonen gebildet haben; es kann nie ein gleichmäßiges Klima allein infolge Erhöhung der solaren Strahlungstemperatur geschaffen werden. Es ist also klar, daß das ausgeglichene Klima verschiedener Perioden zwar von einer wärmer als heute strahlenden Sonne bedingt war, daß jedoch gleichzeitig terrestre Faktoren auf einen Ausgleich der Breitenzonen hingewirkt haben müssen. Als solche könnten die Verteilung von Wasser und Land in Betracht kommen, durch welche ausgleichende Meeresströmungen und eine entsprechende Verteilung der Luftdruckverhältnisse ermöglicht wurden. Doch ist das nur eine Vermutung, weil sich in keinem konkreten Falle die Land- und Wasserverteilung entsprechend nachweisen läßt. In der Trias, die wir für ein ausgeglichenes Klima in Anspruch nehmen, ist die Ausdehnung der Meere im Gebiete der heutigen Kontinente sehr beschränkt; im mittleren Jura

1) KOKEN, E., Indisches Perm und die permische Eiszeit. Festband z. N. Jahrb. f. Mineral. usw., Stuttgart 1907, S. 537ff.

und im unteren Malm sind sie sehr ausgedehnt, ebenso im Obersilur. Es muß also doch wohl noch ein anderer Faktor mitsprechen, den wir nicht kennen, oder es muß der für paläogeographische Karten allein mit Sicherheit verwertbare Teil der Erdoberfläche eben doch zu beschränkt sein, als daß sich die wirkliche allgemeine Verteilung von Meer und Land irgendwie zur Lösung der Klimafragen derzeit schon ausreichend mit heranziehen ließe.

Schon früher hat einmal FRECH der Annahme, daß bei einer Wärmevermehrung durch intensivere Sonnenbestrahlung jede Zone absolut heißer würde, in den Tropen sich also „kochende" Meere bilden müßten in Zeiten, wo die polaren Meere gemäßigt oder warm seien, Folgendes entgegengestellt[1]): „Rein theoretisch läßt sich — unter Voraussetzung eines frostfreien Klimas an den Polen — der Beweis führen, daß eine allgemeine Temperaturerhöhung keine exzessiven Wärmegrade, keine „kochenden" Meere in einem tropischen Seeklima bedingt. Eine Temperaturerhöhung bedingt in jedem feuchten Tropenklima zunächst eine stärkere Verdunstung, d. h. die Bildung von Wasserdampf. Nach Erreichung des Sättigungsgrades der Luft wird der Überschuß in Wasser, d. h. in Wolken oder Nebel umgesetzt. Durch die Ausbreitung von Nebel und Wolken wird nun in jedem feuchten Tropenklima die Sonnenbestrahlung, d. h. die direkte Wärmequelle abgedämpft; tatsächlich sind auch die unter den Wendekreisen beobachteten Wärmegrade durchaus nicht exzessiv. Der Wolkenschleier des feuchten Tropenklimas verhindert ferner jede stärkere Abkühlung während der Nacht; nur selten sinkt die Temperatur unter 20°. Die excessive Abkühlung in tropischen Wüsten andrerseits wird durch nächtliche Ausstrahlung bedingt. Eine allgemeine Erhöhung des Klimas wird zwischen den Wendekreisen keine enorme Temperatursteigerungen bedingen, sondern lediglich in den kalten Zonen eine Wärmevermehrung veranlassen."

PENCK, der annimmt, daß die Perioden hoher Exzentrizität bei entsprechenden geographischen Verhältnissen ausgedehnte Vergletscherungen bewirken, meint, daß umgekehrt bei Fehlen der den Vergletscherungen günstigen geographischen Umstände nur ein Alternieren wärmerer und kälterer Zeiten stattfindet; da der Wärmeüberschuß der wärmeren Zeit in diesem Falle nicht zur Zerstörung der in der kälteren Zeit angehäuften Eismassen verwendet zu werden braucht, so werde sich unter solchen Umständen selbst in höheren Breiten ein gemäßigtes Klima einstellen. Danach würden die Perioden großer Exzentrizität je nach den gerade vorliegenden[2]) geographischen Verhältnissen bald Vereisungen, bald mildere Klimate in höheren Breiten erzeugen, ohne daß sie regelmäßig zu alternieren bräuchten, wie das die streng astronomische CROLL'sche Theorie verlangt.

THOMSON hatte als Grund für milde polare Klimate während der Tertiärzeit nordwärts gerichtete warme Meeresströmungen angesehen, die entstanden als Ausgleich der verschieden erwärmten und daher verschieden schweren Wassermassen. Besonders mit dem verstärkten Golfstrom wurde gerne gearbeitet, aber man muß bei Heranziehung dieses Hilfsmittels auch Rücksicht auf die Frage nehmen, ob denn der

1) FRECH, F., Studien über das Klima der geologischen Vergangenheit, a. a. O. S. 612/13.
2) PENCK, A., a. a. O. S. 453.

Golfstrom soviel Wärme zu liefern überhaupt imstande ist, was CULVERWELL verneint. Die vierfache Geschwindigkeit erst würde das erlauben [1]). Nimmt man dagegen mit WALLACE mehrere Meereskanäle an, welche die kalten mit der warmen Zone verbinden, dann ist eine regelmäßige Zirkulation und ein Wärmeausgleich ermöglicht, und gerade die bis in die Polarzone hinauf milden Klimata der Jurazeit scheinen mir auf solche Weise erklärt werden zu können. Denn damals bestand das große zentral gelegene, von Südostasien bis Mexiko sich erstreckende, ostwestliche Mittelmeer, die Tethys, und von ihr gingen nordwärts und südwärts je drei, die ganze Jurazeit über permanente Geosynklinalmeere aus, nämlich je ein nordwärts und je ein südwärts gerichtetes an den Rändern des Pazifik, eines von Indien südwärts nach Ostafrika und ein entgegengesetztes, nordwärts gerichtetes, das im Lias und Dogger über Mitteleuropa, im Malm über die Uralgegend zog — die vollkommenste Zirkulation war so möglich. Das Klima im Lias war nicht gegensätzlich, sondern ausgeglichen, aber im ganzen kühler als im Dogger und Malm [2]).

9. Zusammenfassung und Allgemeines.

Angesichts der mehr oder minder zutreffenden Universalhypothesen, die doch vielfach von Autoren aufgestellt und propagiert wurden, denen die Tatsachen der vorweltlichen Geographie und Klimazustände entweder noch nicht bekannt sein konnten, oder nur unzureichend bekannt waren, wirkte es immerhin als eine Rückkehr zu der notwendigen induktiven Methode, als SEMPER im Jahre 1896 in einer Studie über das Eocänmeer in Europa und im Polargebiet [3]) aus der Konfiguration der Erdoberfläche wesentlich das Klima zu erklären versuchte und jenem Faktor die ihm zukommende Bedeutung beilegte. Als gesichertes Resultat seiner Untersuchungen konnte er den Satz formulieren: „daß der Einfluß von Veränderungen in der horizontalen Konfiguration der Erdoberfläche auf das Klima ein viel größerer sei, als bis dahin angenommen wurde, und daß ohne Berücksichtigung dieses Einflusses eine zutreffende Lösung des paläothermalen Problems nicht möglich sei." Wenn SEMPER Einzelheiten in den konkreten Resultaten dieser Arbeit abzuändern genötigt war, so zeigt das zwar, wie kompliziert die praktische Behandlung solcher paläoklimatischer Fragen ist, es beweist aber nichts gegen die von ihm erhobene allgemeine methodologische Forderung, und es bleibt sein Verdienst, mit der genannten Abhandlung die paläoklimatische Forschung den Händen des Mathematikers und des spekulierenden Nichtgeologen entwunden und sie auf den Boden einer induktiven geologischen Forschung zurückgebracht zu haben.

Es scheint mir von vorneherein ganz selbstverständlich, daß man die Interglazialzeiten und Schwankungen der Gletscherbedeckung

1) CULVERWELL, E. P., A critism of the astronomical theory of the iceage etc. Geol. Magaz., Dec. IV, Vol. 2, London 1895, S. 64.

2) Bezüglich der Darstellung des Liasklimas auf der Kurve (Fig. 76) vgl. das auf S. 422 Gesagte.

3) SEMPER, M., Das paläothermale Problem, speziell die klimatischen Verhältnisse des Eocän in Europa und im Polargebiet. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 48, Berlin 1896, S. 261—349; Bd. 51, 1899, S. 185—206.

Digitized by Google

nicht so zu erklären vermag, wie die Kurvenausschläge I. und II. Ordnung; auch nicht wie die kleinen Schwankungen, die wir für Untertrias oder Unterkreide angenommen haben. Nur um das Methodische zu zeigen, nicht, um eine endgültig befriedigende Lösung der Frage damit zu bringen, seien folgende Ausführungen gemacht. Wenn man, wie in unserem Falle sieht, daß z. B. die Gebirgsbildung oder die Kohlenansammlung gewissen Hauptschwankungen der Kurve vorausgeht und der Vulkanismus gelegentlich in Beziehung zu entgegengesetzten Ausschlägen steht, aber andere Wellen sich anderen Gesetzmäßigkeiten zu fügen scheinen, so setzt man mit der alten Erklärung vernünftigerweise aus und sucht den Spezialfällen mit einer Spezialerklärung gerecht zu werden. Gelingt es, eine solche induktiv oder deduktiv beizubringen, dann ist der weitere Schritt der, daß man diese Teilerklärung auf andere Fälle anzuwenden sucht. Stimmt sie jedoch weiterhin nicht, dann wird man sie für die approbierten Fälle bestehen lassen und in derselben Weise, wie früher, noch nach anderen bestimmenden Faktoren für andere Teile der Kurvenschwankungen suchen und durch eine solche Serie einzelner oder mit einander kombinierter Momente schließlich zu einer möglichst großen Annäherung an eine lückenlose kausale Erklärung des in Frage stehenden Gesamtphänomens kommen.

Auf zweierlei Weise kann man dem paläoklimatologischen Ursachenproblem näherkommen: einerseits durch Betrachtung eines ganz beschränkten Gebietes, für das man die Wechsel des Klimas in einer relativ engbegrenzten Zeit zu begründen versucht, und zwar Schritt um Schritt aus allernächstliegenden Momenten, wie Änderung der Land- und Wasserverteilung, der Meeresströmungen, der Windbahnen; andrerseits durch Erwägung allgemeiner Faktoren tellurischer oder kosmisch-astronomischer Art. Man darf nicht behaupten, daß der erstere Weg allein der empirisch-induktive sei, denn man darf induktiv nicht verwechseln mit eingeschränkt. Auch das Ganze auf einmal zu betrachten, ist induktiv, besonders dann, wenn die Gefahr besteht, daß durch die Betrachtung des enger Abgegrenzten nicht eine das Ganze beherrschende Gesetzmäßigkeit, sondern mehr die das Gesetzmäßige verwischenden und modifizierenden Details als Hauptsache erscheinen. Beide Methoden müssen also unausgesetzt zugleich angewendet und auf einander abgestimmt werden.

Aus ganz lokalen Ursachen die Eiszeit zu erklären, ist oft versucht worden. So hat schon Lyell die geographische Konstellationen als entscheidend für den klimatischen Charakter einer Gegend angesehen und deshalb auch die Entstehung des nordischen Diluvialeises auf sie zurückgeführt. „The simple fact that totally different climates exist now in the same hemisphere and under the same latitude would alone suffice to prove that their occurence cannot be exclusively due to astronomical influence“ sagt er im Hinblick auf Croll's Theorie[1]). Weitere derartige Versuche machten Desor, Sartorius von Waltershausen u. a., worüber in Zittel's „Geschichte der Geologie und Paläontologie“ und Penck's „Vergletscherung der deutschen Alpen“ Näheres nachgelesen werden kann. Das diluviale Saharameer, die

1) Lyell, Ch., Principles of Geology or the modern changes of the earth and its inhabitants., 11. Aufl., Vol. I, London 1872, S. 281 ff.

Ahlenkung des Golfstromes und die Höherlegung des Landes im Norden spielen in diesen Erklärungen die Hauptrolle.

Auch HULL meint[1]), daß durch Existenz eines Landgebietes im Antillenmeer zur Jungtertiärzeit der Golfstrom abgelenkt und mit einer um etwa 5° geringeren Temperatur nach Europa herübergekommen sei. Nehme man dazu die Erhebung des nordwestlichen Europa und nordöstlichen Amerika gegen Ende des Pliocän, so könnte die nordische Eiszeit erklärt werden.

Gegen alle derartigen Hypothesen und Theorien hat man von jeher eingewendet, daß sie zwar lokale, nicht aber universelle Vereisungen, wie sie uns die Diluvialzeit doch biete, zu erklären vermöchten. Aber hier ist entscheidend, ob von einer umfassenden lokalen Vereisung nicht doch in Bälde sekundäre Vereisungen in dazu disponierten anderen Gegenden der Erde ausgehen können. Durch lokale Bildung einer Inlandeismasse werden die barometrischen Zentra leicht dauernd verschoben, sie üben ihre Wirkungen auf den Verlauf von Windströmungen auch anderwärts aus, und so können feuchte Luftströme etwa an Gebirgswände hingelangen, wo sie vorher nicht vorbeistrichen, und nun dort ihre Feuchtigkeit in Form von Schnee abladen. Je mehr solcher Eisfelder aber, wenn auch nacheinander und langsam, entstehen, umso mehr wirken sie wärmeabsorbierend auf ihre Umgebung und zuletzt auf die Durchschnittstemperatur der Erde ein, und bewirken allmählich weitausgedehnte Vereisungen auf der ganzen Erde. Dann haben wir das Phänomen einer Eiszeit, aus einer lokalen Ursache entsprungen.

Gerade auf Grund der objektiven und in richtigen Größenverhältnissen durchgeführten Darstellung auf der am Schlusse beigefügten Karte ließe sich z. B. ohne weiteres annehmen, daß aus terrestrischen Ursachen die arktische Zone in einer gewissen Ausdehnung vereist sei. Dann würden diese Eisflächen dort die Durchschnittstemperaturen auf der Erde weiter heruntergedrückt und in Gebirgsregionen die Schneegrenze, wenn auch zunächst nur ganz wenig, so doch um einen gewissen Betrag haben sinken und lokale Gletscher entstehen lassen. Diese hätten ihrerseits die gleiche Wirkung, und so würde das Phänomen sich nicht nur lokal steigern, sondern auch auf andre geeignete Gegenden übergreifen, nämlich auf alle die, bei denen nicht bestimmte trockene Winde überhaupt Niederschläge verhindern, oder sonstwie der Eisentwicklung ausgesprochen ungünstige Verhältnisse herrschen. Auf die geschilderte Weise würde sekundär auch das Südpolarland vereisen, denn es hat eine bedeutende Höhenlage. So könnte man aus einer einzigen regionalen geographischen Veränderung das ganze diluviale Glazialphänomen tatsächlich ohne Schwierigkeit ableiten, und dasselbe würde auch für jede andere regional wirkende astronomische oder tellurische Ursache als lokale Eiserzeugerin gelten.

Auf S. 439 wurde aber nach LAMANSKY dargelegt, daß und wie jede größere Vereisung den Keim ihrer späteren Wiederzerstörung in sich selbst trägt, und das würde uns dann den Rückgang der Eiszeit erklären, die nicht wiederzukommen bräuchte, wenn unterdessen durch

---

1) HULL, E., Another possible cause of the glacial epoch. Quart. Journ. geol. Soc., London 1897, Vol. 53, S. 107—108.

geographische Veränderungen die Grundbedingungen beseitigt sind. Solange das nicht der Fall ist, käme es zu interglazialen Phasen, gefolgt von immer neuen Vorstößen, und ihre verschiedene Zeitdauer könnte auch in ungleichen Schwankungen des ursprünglich veranlassenden geographischen Zustandes liegen. Man kann also auch an solchen Theorien nicht achtlos vorübergehen.

Hierbei würde sich dann auch eine terrestre Erklärung für die jungpaläozoische Vereisung finden lassen. Berücksichtigt man die angebliche ungeheuere Ausdehnung des Gondwanalandes auf der Südhemisphäre zu damaliger Zeit und nimmt man an, daß auch dort, wie sonst überall auf der Erde, spätpaläozoische hohe Gebirge lagen, dann gibt es folgende Möglichkeiten: Entweder kam kalte südozeanische Drift an diesem Festlande vorbei und kühlte es ab, so daß die Niederschläge in den Gebirgen sich zu Gletschermassen ansammelten; das ist Koken's Meinung[1]). Oder die Erwärmung eines so ausgedehnten Landes zog die mit Feuchtigkeit geschwängerte ozeanische Luft herein, die sich in den Gebirgen gerade im Sommer als Schnee niederschlug; dann hätten wir den oben S. 441 für das Auftreten einer „Eiszeit" als notwendig und charakteristisch bezeichneten Zustand sommerlicher geringer Abkühlung und Schneeniederschläge. Das würde ungefähr einer von David gegebenen Erklärung nahekommen[2]) und auch die kambrische Vereisung vice versa erklären.

Dann bräuchte man auch nördlich vom Äquator für das Perm nicht nach korrelativen Eisansammlungen zu suchen — es fanden sich dort nicht die Bedingungen dafür, daß die Niederschläge, welche ja zur Rotliegendzeit dort zeitweise ausgiebig auftraten, so große Eismassen erzeugten; sie häuften nur fluviatile Schotter auf (vgl. S. 416). Man muß auch die Möglichkeit im Auge behalten, daß in den Gebirgsregionen der Nordhemisphäre Gletschermassen lagen, aber ihre Moränen und Schotter wurden späterhin mit diesen Höhen abgetragen; gerade Glazialablagerungen bleiben nur erhalten, wenn sie außerhalb der stets rasch wieder der Denudation zum Opfer fallenden Gebirge abgelagert worden sind. So wird auch in späteren geologischen Zeiten etwa das norddeutsche Glazialsediment unter nachquartären Marinschichten noch erhalten sein können, während die inneralpinen Moränen und Schotter mit dem Gebirge selbst abgetragen und verschwunden sein werden. Eine vorquartäre Eisansammlung kann uns daher nur soweit bekannt werden, als sie sich über außerhalb von Gebirgen gelegene Regionen ausdehnte. Auch aus diesem Grunde könnten permische Eisspuren jetzt auf der Nordhemisphäre fehlen.

Ich habe versucht, zwischen Bedingungen und Ursache des Klimawechsels bezw. der Eiszeiten tunlichst zu unterscheiden. Denn es hat sich gezeigt, daß eine Anzahl Bedingungen erfüllt sein müssen, damit es zu so großen Klimaausschlägen kommt, wie sie uns zeitweise in der Erdgeschichte begegnen. Selbst die Autoren, welche sich auf eine einzige „Ursache" festlegten, wie Croll, Frech, Philippi u. a., mußten zur richtigen Durchführung ihrer Theorie eine Änderung verschiedenster klimabestimmender Faktoren als Folge der Änderung des von ihnen

1) Koken, E., Indisches Perm und die permische Eiszeit, a. a. O. S. 540.
2) David, T. W. E., Conditions of climate at different geological epochs etc. a. a. O. S. 478/479.

hypostasierten Hauptfaktors annehmen. Erst das ganze Gewebe von kleinen Ursachen und Folgen gibt in seinem Zusammenhange das, was wir letzten Endes als „die Ursache" abstrahierend bezeichnen. Also weder die Schwankung der Sonnenwärme, noch die Änderung der Exzentrizität, noch die Gebirgsbildung an und für sich sind die Ursache der Eiszeiten, sondern das eine oder andere von ihnen oder mehrere von ihnen zusammen sind mitbestimmende Faktoren. Darum schließt die Widerlegung des einen oder anderen von ihnen als Ursache noch lange nicht dessen Zugehörigkeit als gelegentlich mitbestimmenden Faktors aus.

Aus dieser Betrachtung folgt die Möglichkeit, daß die stets komplexe Ursache einer Eiszeit von Fall zu Fall eine ganz verschiedene innere Struktur und die mitwirkenden Faktoren auch eine ganz verschiedene Form und Bedeutung innerhalb des Ursachengewebes jeweils haben können. Auch mag der eine durch den anderen gelegentlich ersetzt werden. Starke Ionisation der Luft mag im einen Falle das ersetzen, was an Ausdehnung und Höhe den Gebirgen oberhalb der unteren Schneegrenze mangelt und was vielleicht in einer anderen Glazialzeit gegeben war, wo statt dessen die intensive Ionisation fehlte usw. Es ist also — und das muß man für die fortschreitende Forschung im Auge behalten — sehr wahrscheinlich, daß die bekannten großen Eiszeiten aus ganz verschieden angeordneten Bedingungen hervorgingen, und daß eine künftige Erklärung des Entstehens der einen nicht ohne weiteres auf das Entstehen der anderen übertragbar sein wird.

Die wesentlichsten Bedingungen, unter denen sich der vorweltliche Klimawechsel in seinen Hauptausschlägen vollzog, sind, soweit wir es bisher erkennen konnten, die mit einem Absinken des Jahresmittels Hand in Hand gehende Feuchtigkeitszunahme auf den Kontinentalgebieten und damit eine Herabdrückung der Schneegrenze. Wenn die Sonne die Ursache zum Eintritt dieser Bedingungen ist, so scheint doch, damit eine regelrechte Eiszeit zustande kommt, die starke Gliederung des Erdreliefs bezw. der Bestand von Hochgebirgen eine notwendige Voraussetzung zu sein, ohne den die erstgenannten Faktoren keine Eiszeit zustande bringen. Das führt zu der Vermutung, daß gelegentlich einmal die klimatisch-meteorologischen Bedingungen zu einer Eiszeit gegeben sein konnten, diese aber nicht zum Ausbruch, d. h. praktisch nicht zur Verwirklichung kam, weil der Faktor Hochgebirgsbildung gerade fehlte, so daß man in diesem Falle von einer „latenten Eiszeit" reden könnte.

Gebirge sind also eine notwendige Voraussetzung zum sichtbaren Ausbrechen einer Eiszeit. Daß sie nicht die Ursache sein können, beweist die Tatsache, daß die Diluvialeiszeit verschwand, als die tertiären Hochgebirge noch standen; und heute stehen sie noch. Daraus folgt, daß ein die großen Schneemengen und die Abkühlung erzeugender Faktor als primärer hinzukommen muß. Es kann auch sein, daß dieser etwas Periodisch-Rhythmisches hat und häufiger auftritt als die Gebirgsbildung. Trifft er mit der Existenz von Gebirgen zeitlich zusammen, dann erscheint das Glazialphänomen (Algonkium, Kambrium, Perm, Quartär); trifft er auf etwas geringere Reliefdifferenzierung der Erdoberfläche, dann entsteht auch ein weniger um sich greifendes Glazialphänomen und vielleicht nur schärfere

Digitized by Google

Pointierung der Klimazonen oder Klimagegensätze nicht-zonarer Anordnung (Devon, Kreide); trifft er endlich auf eine gebirgslose Zeit mit Ländern, deren Oberfläche mehr dem Reife- bezw. Altersstadium genähert ist, dann entsteht nur eine relativ geringere Abkühlung ohne Glazialspuren. In diesem Sinn könnte man die auf S. 449 besprochene Abkühlung im Lias auffassen, die auf unserer Klimakurve als Ausschlag niederer Ordnung bezeichnet ist.

Die ganze Schwierigkeit der Frage nach den Eiszeitursachen gibt sich kund in der von Brückner behandelten Möglichkeit[1]), daß es in der Antarktis eine bisher nur theoretisch geforderte obere Eisgrenze geben dürfte, über der wegen des geringen Luftdruckes die Verdunstung des Eises bezw. Schnees rasch wächst. Da zugleich auch mit zunehmender Höhe die Temperatur abnimmt, enthält die Luft immer weniger Wasserdampf, die Niederschläge werden geringer. Sinkt also in einem sehr hohen Gebirge, wie es die Antarktis ist, die Temperatur, dann sinkt zwar die untere, aber auch die obere Schneegrenze herab, die Vergletscherung nimmt unten zu, oben ab. Dieses Sinken der Durchschnittstemperatur wird dann aber auch in Gegenden, die bis dahin gerade noch unterhalb der unteren Schneegrenze lagen, Vereisung bringen. In großen Höhen, wo durch das Sinken der oberen Schneegrenze die Vereisung verschwand, tritt sie daher wieder auf, wenn die Temperatur steigt. Auf die Antarktis angewendet, heißt das, daß durch ein künftiges etwaiges Steigen der Temperatur das Eis ausgedehnter würde und Areale vergletschern könnte, die jetzt unvereist sind. Heute geht am Meeresrande nämlich die Abnahme der Inlandeismassen durch Kalben vor sich, weil vielfach die untere Schneegrenze unter dem Meeresspiegel liegt.

Wenn also die der Antarktis vorgelagerten Inseln heute größere Ausdehnung der Eisbedeckung zeigen als früher, die Antarktis dagegen geringere, wenn diese durch Erhöhung der Temperatur in ihrer Vereisung zunimmt, jene abnehmen, dann erkennen wir daran die ganz gegenteilige Wirkung ein und desselben Faktors, je nach seinem Zusammentreffen mit einem oder mehreren anderen. Höhe und Ausdehnung des Landes bewirken im einen Falle, daß derselbe Faktor zu einem Wachsen der Vereisung, im anderen Falle zu einer Abnahme führt.

Ist dies aber empirisch in einem relativ beschränkten Gebiet der Erde der Fall, dann liegt der Schluß nahe, daß es auch im großen von dem gerade entsprechenden Zusammenwirken mehrerer Faktoren abhängt, ob eine „Eiszeit" eintritt, oder nicht, und ob sie partial oder universell wird. Die vielen stets in verschiedenem Ausmaß und Stärke vorhandenen Bedingungen müssen gerade einmal eine Konstellation eingehen, die ein Optimum für eine universelle Eisentstehung bildet — dann kommt sie zustande. Es ist nicht notwendig, daß bei jeder Eiszeit in der Erdgeschichte die Konstellation die gleiche war; im einen Falle mögen die Gebirge zahlreicher, an Areal ausgedehnter und an Höhe bedeutender gewesen sein, dafür die Durchschnittstemperatur nicht so gering, wie in einem anderen Falle, wo die Durchschnittstemperatur geringer, aber die Gebirge weniger hoch waren, so daß trotzdem die untere Schneegrenze um soviel herabgerückt wurde, daß das

1) Brückner, E., Die Schneegrenze in der Antarktis. Zeitschr. f. Gletscherkunde usw., Bd. VII, Berlin 1913, S. 276—279.

Glazialphänomen in gleicher Ausdehnung zustande kam. So könnten möglicherweise auch innerhalb einer Eiszeit die Interglazialzeiten aus etwas verschiedenen Konstellationen entstehen, die eine durch Senkungsvorgänge der Gebirgsregionen, die andere durch Wärmezunahme allein.

Jedenfalls zeigt sich auch bei den Versuchen zur Erklärung der Eiszeiten, daß, wie überall in der Natur, die Erscheinungen nicht aus einer einfachen, sondern aus ineinander verwobenen Ursachenreihen bestehen, und daß darum voraussichtlich nicht die einfache, sondern die komplizierte Erklärung in Zukunft die richtige sein wird.

Erläuterung zu der am Ende beigefügten großen Glazialkarte.

Es wurden auf der von Herrn Dr. Levy entworfenen Galzialkarte von mir die prädiluvialen Vereisungsspuren nach dem auf S. 397 ff Gesagten eingetragen, wofür die Signaturen auf dem Blatte selbst näher angegeben sind. Der große Maßstab, welcher nötig war, um die kleinen diluvialen Vereisungszentren im richtigen Größenverhältnis darzustellen, ermöglicht es zugleich, die Karte zu Demonstrationszwecken zu verwenden. Über die bei der Konstruktion der diluvialen Eisflächen maßgehend gewesenen Gesichtspunkte teilt Herr Dr. Levy folgendes mit:

Es wurde schon bei der Aufführung des vorliegenden diluvialgeographischen Kartenmaterials (S. 35ff.) auf die Nachteile hingewiesen, die den meisten der bisher erschienenen Übersichtskarten über die Verbreitung der diluvialen Eiszeit auf der Erde anhaften. Es genügt daher hier, auf die Eigenschaften der beigegebenen neuen Darstellung einzugehen.

Es handelte sich um drei Anforderungen, denen zu genügen war: erstens um ein einheitliches Kartenbild, um nirgends, vor allem im andinen Gebirgssystem Amerikas, wichtige Zusammenhänge zu zerreißen; zweitens um eine flächentreue Darstellung, um in allen Gebieten ein völlig gleichwertiges Vergleichsmaterial zu besitzen; drittens um einheitliche Darstellung der Pollage für alle Länder, was am besten dadurch zu erreichen war, daß die Breitenkreise als unter sich parallele Gerade gezeichnet wurden. Allen drei Anforderungen wird nur eine einzige Kartenprojektion gerecht: es ist die modifizierte Zylinderprojektion nach Mollweide (Babinet), der man jetzt auch schon für andere Zwecke erfreulicherweise mehr und mehr in Lehrbüchern und Atlanten begegnet[1]). Eine andere Projektion kam nicht in Frage, sonst hätte irgendeine der drei prinzipiell wichtigen Anforderungen aufgegeben oder wesentlich eingeschränkt werden müssen; höchstens an die Kreisringprojektion nach Eckert[2]) konnte noch gedacht werden, aber diese verzichtet auf die Darstellung des Poles als eines Punktes und erschien deshalb gerade für eine Eiszeitkarte ungeeignet. Winkeltreu kann die Mollweide'sche Karte ihren ganzen Voraussetzungen noch nicht sein, und im östlichen und westlichen Randgebiete weist sie recht erhebliche Verzerrungen auf; aber diese spielen gerade in der Eiszeitfrage fast gar keine Rolle gegenüber den ganz phantastischen Längen- und Flächenverzerrungen, welche z. B. das Mercator'sche Kartenbild aufweist.

Es würde hier zu weit führen, den gesamten Quellennachweis im Einzelnen anzutreten; viele wichtige Grundlagen sind bereits früher in anderem Zusammenhange namhaft gemacht worden (S. 35ff.). Einzelnes mag auffällig erscheinen, so die Darstellung Hochasiens, die im Wesentlichen der Auffassung Hedins[3]) folgt. Ein neues, südlichstes Vorkommnis ehemaliger Vergletscherung in den Vereinigten Staaten von Nordamerika ist nach W. W. Atwood[4]) in der San Francisco Mountain (Arizona) eingetragen. Auch die neusibirischen Inseln sind in das Bereich diluvialer Vereisung einbezogen worden, obwohl es sich dort nicht um Vergletscherung handelt[5]). Dagegen ist die Nordinsel Neuseelands nach den neuesten Darstellungen von Marshall[6]) als eisfrei gezeichnet worden. Neuguinea ist nach den

1) Als Beispiel seien hier nur die Klimakärtchen in den „Grundzügen der Physiogeographie" von W. M. Davis und G. Braun genannt. Über die Mollweideprojektion vgl. z. B. M. Groll, Kartenkunde 1912, Bd. I, Nr. 30, S. 85f. (Sammlung Göschen). Vgl. ferner den Abschnitt S. 35ff. im Kapitel II.

2) Siehe bei Groll, l. c., S. 88; ferner Peterm. Mitteil. 1906, S. 97ff.

3) Vgl. Scientific Results of a Journey in Central Asia 1899—1902, Vol. IV, S. 605; ferner Peterm. Mitteil. 1910, Bd. II, S. 3.

4) Glaciation of San Francisco Mountain, Arizona. Journ. of Geol. 1905, Vol. XIII, S. 277.

5) Vgl. die jüngste Auseinandersetzung zwischen E. Kayser und Fr. Frech im Centralbl. f. Mineral. usw. 1914, Bd. XV, S. 317ff.

6) Handbuch der regionalen Geologie 1911, Bd. VII, 1, S. 49f.

Digitized by Google

jüngsten Reiseergebnissen im holländischen Teile früher offenbar erheblich vergletschert gewesen; auch für den deutschen Teil wird es in einzelnen Gehirgen von SIEVERS[1]) gemutmaßt. Über die Vergletscherung Australiens[2]) und Tasmaniens[3]) haben die jüngsten Forschungen keine nennenswerte Änderung der bisherigen regionalen Auffassung hervorgebracht. In Afrika sind seit längerer Zeit schon ausgedehnte diluviale Vergletscherungsreste in den ja noch heute zum Teil vergletscherten ostafrikanischen Hochgebirgen bekannt; ebensolche früher auch in den südafrikanischen Quathlamba Mountains (Drakensberge) vermutete sind neuerdings nicht mehr bestätigt worden[4]). In Europa ist seit Drucklegung der Karte in den griechischen Gebirgen des Taygetos und Parnaß durch O. MAULL[5]) eine ziemlich intensive Lokalvergletscherung nachgewiesen worden.

Es war selbstverständlich unmöglich, im Rahmen einer halbwegs handlichen Karte die einzelnen diluvialen Vergletscherungsgebiete in anderer als ganz schematischer Weise zur Darstellung zu bringen. Eine Übersichtskarte kann nicht auch gleichzeitig Spezialkarte sein; und es hieße mehr aus der Karte herausholen wollen, als tatsächlich in sie hineingelegt werden konnte, wollte man — von den großen Inlandeismassen vielleicht abgesehen — irgendwo absolute Flächenwerte für ein vergletschertes Gebiet aus ihr gewinnen. Vielfach, vor allem in Südosteuropa, sind die Ausmaße ehemaliger Vergletscherung ja so gering, daß sie im Maßstabe unserer Meßtischblätter gerade noch richtig dargestellt werden können; auf einer Übersichtskarte in kleinem Maßstabe kann man ihnen natürlich nur höchst summarisch gerecht werden. Um jedoch auch hierin nicht bis ins Extreme gehen zu müssen und z. B. die afrikanischen Gletschergebiete möglichst wenig zu vergrößern, wurde der für eine Übersichtskarte verhältnismäßig große Maßstab 1 : 50 Mill. gewählt; dadurch wurde die Karte so groß, daß sie sich unter Umständen auch für Demonstrationszwecke verwenden läßt.

Auf der Karte sind ferner noch die tertiären Kettengebirge sowie in Hoch- und Ostasien die tertiären Bruchschollengebirge eingezeichnet worden[6]). In diesem Bereich sind alle heutigen Hochgebirge der Erde enthalten mit Ausnahme der ostafrikanischen, die vulkanischer Entstehung, aber auch nicht höheren Alters sind; die Binsenwahrheit von der Jugend der heutigen Hochgebirge wird so, mit der erwähnten Einschränkung, auf geologischer Grundlage veranschaulicht. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist in Europa die Zone der tertiären Bruchschollengebirge, die ja auch keine Hochgebirge bilden, unberücksichtigt geblieben; dasselbe gilt von Australien und Tasmanien. Aber auch so schon, besonders in Anbetracht der asiatischen Verhältnisse, tritt mit genügender Anschaulichkeit die so außerordentlich weitreichende Bedeutung hervor, welche die tertiäre Gebirgsbildung für das Ausmaß der diluvialen Vergletscherung gehabt hat. Ohne weiteres ist ersichtlich, daß ohne die vorangegangene tertiäre Gebirgsbildung eiszeitliche Erscheinungen auf die polnahen Gebiete der Erde beschränkt geblieben wären. Diese methodisch wichtige Frage schien mir die an sich vielleicht nicht

---

1) In H. MEYER, Das deutsche Kolonialreich 1910, Bd. II, S. 397.

2) DAVID, HELMS und PITTMAN, Geological Notes on Kosciusko with Spezial Reference to Evidences of Glacial Action. Proc. Linn. Soc. of New South Wales 1901, Vol. XXVI.

3) J. W. GREGORY, The Glacial Geology of Tasmania. Quart. Journ. Geol. Soc. London 1914, Vol. LX.

4) Sowohl in A. W. ROGERS und A. L. DU TOIT, An Introduction to the Geology of Cape Colony (2d ed., London 1909), als auch in F. H. HATCH und G. S. CORSTORPHINE, The Geology of South Africa (2d ed., London 1909) findet diese Frage überhaupt keine Erwähnung.

5) Nach freundlicher mündlicher Mitteilung.

6) Es erscheint angebracht, den eingezeichneten Verlauf der tertiären Kettengebirge etwas näher zu begründen. Als Grundlage kann auch heute noch NEUMAYRS Kärtchen dienen (Erdgeschichte 1887, Bd. II, S. 655), aber es ist so schematisch, daß im einzelnen und bei einer so viel größeren Darstellung eine sorgfältige Zeichnung wesentliche Abweichungen ergeben muß. Als Grundlage dieser Neuzeichnung diente vor allem „Das Antlitz der Erde" von SUESS (1885—1909); als Beispiele besonderer, auf diese Quelle gegründeter Abweichungen von NEUMAYR seien Mittelamerika und die Randgebiete des persischen Meerbusens hervorgehoben. Im Süden von Südamerika greift das andine System mit einer weiten Ausbiegung über die „südlichen Antillen", Südgeorgien—Sandwichgruppe—Südorkneyinseln in die Antarktis über (vgl. den Vortrag von F. HEIM auf dem 10. deutschen Geographentag in Straßburg 1914) und bildet das Hochgebirge von Grahamland. Weiter-

Digitized by Google

ganz zu billigende Verquickung regionaler und tektonischer Probleme von verschiedenem geologischem Alter auf ein und derselben Karte zu rechtfertigen.

Deutlich zeigt sich auf der Karte die große klimatische Beeinflussung der Randgebiete durch die beiden großen nordischen Inlandeismassen. Hier haben selbst kleine Gebirge eine Lokalvergletscherung zu erzeugen vermocht, während bei größerer Entfernung eine solche auch in höheren Mittelgebirgen sehr gering blieb (z. B. Harz — Böhmerwald). Es ist jedoch an dieser Stelle nicht möglich, näher auf all die mannigfaltigen Probleme der noch lange nicht völlig geklärten Frage der Mittelgebirgsvergletscherung einzugehen.

---

hin ist seine Fortsetzung noch unbekannt. Andrerseits sendet das westpazifische Randgebirge über Neuseeland einen Ausläufer weit nach Süden. Wo dieser sich in der Antarktis fortsetzt, ist gleichfalls noch unbekannt; Südviktorialand und auch Edward VII.-Land haben nach den neuesten Forschungen als Teile eines paläozoischen Gebirgsrumpfes zu gelten, der sich nach Westen offenbar bis zur Weddelsee erstreckt (vgl. O. Nordenskjöld im Handb. f. region. Geologie 1913, Bd. VIII, 6: Antarktis). Es muß also zunächst noch offen bleiben, wie und wo der zirkumpazifische Kettengebirgsring sich schließt; daß ein solcher tatsächlich vorhanden ist, kann als sehr wahrscheinlich gelten. Auf der beiliegenden Karte wird zum erstenmal versucht, ihn zur Darstellung zu bringen; die angedeutete Lösung entspricht den von Wilckens ausgesprochenen Erwägungen (Zur Geologie der Südpolarländer, Centralbl. f. Mineral. usw. 1906, Bd. VII, S. 173 ff.). — Auch für Hochasien haben die Forschungen der letzten Zeit wesentlich neue Ansichten über den Bau der Hochgebirge gezeitigt. Immer mehr gewinnen dort die Bruchschollengebirge an Raum gegenüber den Kettengebirgen. Die ersteren wurden für Ostasien im wesentlichen nach den Ausführungen von Frech (im V. Band des Chinawerkes von F. von Richthofen, 1913) gezeichnet; für Hochasien erfreute ich mich der weitgehenden persönlichen Unterstützung von K. Leuchs, dessen den neuesten Forschungen entsprechende Anschauungen erst zum Teil veröffentlicht sind (vgl. Geol. Rundschau 1914, Bd. V, S. 81; in Bearbeitung: Handb. d. region. Geologie, Bd. V, 7: Zentralasien). Hier zeigt die Karte ein vom Herkömmlichen durchaus abweichendes Bild: an Stelle der breiten Faltengebirgszone Neumayrs verbindet jetzt nur noch der schmale Strang des Himalaya Westasien mit dem malaischen Knoten; Tibet, Pamir, Tienschan und Altai stehen ihm als Bruchschollengebirge fremd gegenüber. Aber vielfach sind die Grenzen zwischen beiden Gebirgssystemen noch sehr unsicher; und in hohem Maße gilt dies auch von den pazifischen Randgebieten des nördlichen Ostasien.

Digitized by Google

Autorenverzeichnis.

(Ein * hinter der Seitenzahl bedeutet zugleich ein Literaturzitat.)

Digitized by Google

Sachregister.

32

Berichtigungen.

S. 12 und 13 lies: Godwin-Austen, statt: Goodwin-Austen.
S. 15 Meine Rudistenverbreitungskarte (S. 424) repräsentiert nicht den besagten Typ; vielmehr sind auf einer die jetztweltliche Erdoberfläche darstellenden Karte lediglich die fossilen Rudistenvorkommen eingetragen.
S. 21 letzte Zeile lies: Fennoskandia, statt: Femoskandia.
S. 26 Mitte und Anm. 6 lies: Wegner, statt: Wegener.
S. 60 mittlerer Absatz, lies: Clarke, statt: Clark; und Helmert, statt: Hehnert.
S. 74 letzter Absatz, lies: Beringstraße, statt :Behringstraße.
S. 95 Zeile 32 lies: 200—3000 tiefer, statt: 200—3000 höher.
S. 109 unterhalb Mitte lies: die auf 176 m, statt: die auf Amboina 176 m.
S. 155 Zeile 15 von unten lies: der salischen Erdkruste, statt: der Erdkruste.
S. 156 zweiter Absatz lies: die thermische Theorie, statt: die Lachmann'sche Theorie.
S. 166 unten lies: Godwin-Austen, statt: Goodwin-Austen.
S. 181 Tabelle links 1 lies: bedeckt haben muß, statt: bedeckt haben.
S. 181 Fig. 31 ist irrtümlicherweise das Nordpolarmeer ganz schraffiert statt nur dessen Südrand.
S. 191 ganz unten, lies: fehlen, statt: felen.
S. 206 in der Tabelle und im Absatz 3 lies: vulkanogen, statt: vulkanisch.
S. 207 Zeile 17 von unten, lies: feine, statt: feiner.
S. 297 Anm. 2, lies Buckman, statt: Buckmann.
S. 356 letzter Absatz, lies: sowie Laven, statt: sowie Larven.
S. 358 Zeile 21 lies: eine große Zahl, statt: ein große Zahl.
S. 369 Anm. 2, lies: Johnsen, statt: Johnson.
S. 391 Zeile 17 von unten, lies: Möglichkeit, statt: Möglichkeiten.
S. 398 Zeile 16 lies: plissements archéens, statt: plissemont sarchéens.
Ebendort letzte Zeile nach „verbanden" ein Schlußanführungszeichen zu setzen.
S. 415 Zeile 8 lies: Massivs, statt: Massios.
Ebendort Absatz 3 lies: Molengraaff, statt: Moolengraaff.
S. 465 ist zur Ergänzung der Figurenerklärung zu bemerken, daß die theoretisch berechneten kleineren Klimaschwankungen in Fig. 79 wieder eine großwellige Kurve darstellen, welche nach Pilgrim den einzelnen Glazial und Interglazialzeiten entsprechen könnte (W, R, M = Würm-, Riß-, Mindeleiszeit etc.).

JUN 1 1915

Digitized by Google

Druck von Ant. Kämpfe in Jena.

Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Über den Buntsandstein in Deutschland und seine Bedeutung für die Trias.

Nebst Untersuchungen über Sand- und Sandsteinbildungen im Allgemeinen. Von Dr. **J. G. Bornemann.** Mit 3 Tafeln nnd 4 Textabbildungen. (Beiträge zur Geologie und Paläontologie. Heft 1.) (61 S. gr. 4°.) 1889. Preis: 7 Mark.

Die vorzeitlichen Säugetiere.

Von **O. Abel.** Mit 250 Abbildungen und 2 Tabellen im Text. (VII, 309 S. gr. 8°.) 1914. Preis: 8 Mark 50 Pf., geb. 9 Mark 50 Pf.

Inhalt: Einleitung. — Die erhaltenen Überreste der fossilen Säugetiere. — Der Erhaltungszustand der vorzeitlichen Säugetierreste. — Die wichtigsten Fundorte größerer vorzeitlicher Säugetierfaunen. — Die ältesten Säugetierreste. — Die Einreihung der vorzeitlichen Säugetiere in das System der lebenden Säugetiere. — Übersicht der vorzeitlichen Säugetiere. — Aufstieg, Blüte und Niedergang der Säugetierstämme. — Sachregister.

Seit längerer Zeit ist der Versuch nicht unternommen worden, die Ergebnisse der Forschung auf dem Gebiete der vorzeitlichen Säugetiere in abgerundetem Bilde einem größeren Kreise zu erschließen. Wohl sind in einzelnen Handbüchern aus neuerer Zeit dem Fachmanne die Errungenschaften der Forschung über die Säugetiere der Vorzeit zugänglich gemacht worden, aber eine übersichtliche und allgemeinverständliche Darstellung dieser Fragen hat bis heute gefehlt. Diese Lücke will das vorliegende, von einem der berufensten Kenner geschriebene Buch ausfüllen.

Auf eine sorgfältig ausgewählte, gute bildliche Darstellung, das wichtigste Mittel zur Einführung in all diese Fragen, ist besonders Wert gelegt worden. — So wird dieses Buch allen jenen, die einen Einblick in die Vorgeschichte des Säugetierstammes gewinnen wollen, zeigen, daß auf diesem Gebiete in den letzten Jahrzehnten eine Reihe wichtiger Erfolge erzielt worden ist, auch in solchen Fragen, die noch vor kurzer Zeit hartnäckig einer Lösung getrotzt haben.

Vorlesungen über die chemische Gleichgewichtslehre und ihre Anwendung auf die Probleme der Mineralogie, Petrographie und Geologie.

Von Dr. **Robert Marc,** a. o. Professor an der Universität Jena. Mit 144 Abbildnngen im Text. (VI, 212 S. gr. 8°.) 1911. Preis: 5 Mark.

Inhalt: 1. Der Begriff des Gleichgewichts in der Chemie. — 2. Einfluß von Änderungen der Konzentration, des Druckes und Temperatur auf das Gleichgewicht. a) Massenwirkungsgesetz. b) Phasenregel. — 3. Abhängigkeit des Schmelzpunktes vom Druck. Polymorphe Umwandlung. — 4. Abhängigkeit der Stabilität vom Druck. Kristallisations- und Umwandlungsgeschwindigkeit und ihr Einfluß auf die Struktur des entstehenden Produktes. — 5. Systeme aus zwei Komponenten. — 6. Einfluß des Druckes auf Systeme aus zwei Komponenten, deren Ausscheidungsfolge und Ausscheidungsform. Der Begriff der Lösung. — 7. Die festen Lösungen. — 8. Systeme aus drei Komponenten. — 9. Systeme aus mehreren Komponenten, von denen die eine flüchtig ist; speziell wässerige Lösungen. a) Kryohydratischer Punkt; Schmelzpunkt von Hydraten. b) Die Zersetzung von Hydraten. c) Dreistoffsysteme. d) Das isotherme Diagramm. e) Das granitische Magma. — 10. Die Untersuchnngen van't Hoffs über die ozeanischen Salzablagerungen. a) Einleitende Untersuchungen. b) Die einzelnen Zweistoffsysteme. c) Die Kristallisationsbahnen. — 11. Die Untersuchungen van't Hoffs über die ozeanischen Salzablagerungen (Fortsetzung). a) Mitberücksichtigung des Chlornatriums. b) Die Umwandlungsvorgänge und die Methode ihrer Untersuchung. c) Die wichtigsten Änderungen bei höheren Temperaturen. d) Prüfung der experimentellen Ergebnisse an den natürlichen Vorkommen. — 12. Gleichgewichte an Oberflächen. a) Die Adsorptionsreaktionen. b) Die Natur der Gele und ihre Bedeutung im Mineralreich. c) Die Adsorption an kristallinischen Stoffen. — 13. Allgemeine geochemische Betrachtungen.

Centralblatt für Mineralogie:

Das Buch ist aus wirklich gehaltenen Vorlesungen entstanden, welche der Verfasser den Studierenden der Mineralogie und Geologie in Jena vorgetragen hat, und ist demgemäß auch auf den durchschnittlichen Vorbildungsgrad einer solchen Zuhörerschaft zugeschnitten. In lebhafter und anschaulicher Sprache und unterstützt durch ein sehr reichliches Material von Abbildungen führt der Verfasser seine Leser in die Anwendung der allgemeinen chemischen Dynamik auf die speziellen Probleme ein, wie sie sich dem Mineralogen und Geologen bei seiner Forschung entgegenstellen.

Digitized by Google

Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Die quarzfreien Porphyre des zentralen thüringer Waldgebietes und ihre Begleiter.

Von Dr. **E. E. Schmid,** Prof. der Mineralogie an der Universität Jena (Geh. Hofrat). Mit 6 lithographischen Tafeln. (106 S. gr. 4°.) 1880. Preis: 18 Mark.

Inhalt: 1. Einleitung. 2. Reine Porphyre. 3. Konglomeratische Porphyre und Porphyrtuffe. 4. Konglomerate Sandsteine und Schiefer. 5. Durchsetzende Stöcke und Gänge. 6. Lagerung.

Grundzüge der marinen Tiergeographie.

Anleitung zur Untersuchung der geographischen Verbreitung mariner Tiere, mit besonderer Berücksichtigung der Dekapodenkrebse. Von Dr. **Arnold E. Ortmann,** Princeton N. J. (U. S. A.). Mit 1 farbigen Karte. (IV, 96 S. gr. 8°.) 1896. Preis: 2 Mark 50 Pf.

Inhalt: 1. Geschichtlicher Überblick über die Entwicklung der tiergeographischen Wissenschaft. — 2. Die wichtigsten physikalischen Lebensbedingungen. Lebensbezirke und Facies. („Bionomie".) — 3. Die Verbreitung der Tiere: Beförderung und Verhinderung der Verbreitung; Verbreitungsmittel. — 4. Die marinen tiergeographischen Regionen. — 5. Einfluß der geologischen Veränderungen der Erde auf die Verbreitung der Tiere. Geologischer Wechsel der klimatischen, topographischen und biologischen Verhältnisse. — 6. Bionomie und geographische Verbreitung der Dekapodenkrebse. — 7. Überblick über den Stand unserer Kenntnis der geographischen Verbreitung anderer Tiergruppen.

Grundriß der Kristallographie.

Für Studierende und zum Selbstunterricht. Von Dr. **Gottlob Linck,** o. ö. Prof. der Mineralogie und Geologie an der Universität Jena. Dritte verbesserte Auflage. Mit 631 Originalfiguren im Text und 3 farbigen, lithographischen Tafeln. (VIII, 272 S. gr. 8°.) 1913. Preis: 11 Mark 50 Pf., geb. 12 Mark 50 Pf.

Inhalt: I. **Einleitung.** — II. **Die 32 Symmetrieklassen.** 1. Reguläres System. 2. Hexagonales System. 3. Tetragonales System. 4. Rhombisches System. 5. Monoklines System. 6. Triklines System. — III. **Die physikalischen Eigenschaften der Kristalle.** 1. Die Grundgesetze. 2. Das spezifische Gewicht. 3. Die Elastizität der Kristalle. 4. Auflösung und Zersetzung der Kristalle. 5. Das Verhalten der Kristalle gegen das Licht. 6. Verhalten der Kristalle gegen die Wärme. 7. Magnetische und elektrische Eigenschaften der Kristalle. — IV. **Beziehungen zwischen den physikalischen Eigenschaften des Kristalls und seiner chemischen Zusammensetzung.**

Zeitschrift für angewandte Chemie, 26. Jahrg., 1913, Nr. 82:

. . . Schon der Student sollte auf die Erwerbung gründlicher Kenntnisse in der Kristallographie hingewiesen werden, die ihm später bei seinen Arbeiten so oft fördern können. Das Lincksche Buch ist dazu ein vortreffliches Hilfsmittel . . . Es kann allen Fachgenossen bestens empfohlen werden, zumal es in der Tat zum Selbststudium sehr geeignet ist.

Tabellen zur Gesteinskunde.

Für Geologen, Mineralogen, Bergleute, Chemiker, Landwirte und Techniker. Zusammengestellt von Dr. **Gottlob Linck,** o. ö. Prof. für Mineralogie an der Universität Jena. Mit 4 Tafeln. Dritte vermehrte und verbesserte Auflage. 1909. Preis: 2 Mark.

Inhalt: 1. Chemische Zusammensetzung der Erdrinde. 2. Mineralien der Eruptivgesteine. 3. Verwandtschaftliche Beziehungen der Eruptivgesteine. 4. Die kieselsäurereicheren Eruptivgesteine. 5. Die kieselsäureärmeren Eruptivgesteine. 6. Die gangförmigen Spaltungsprodukte der Tiergesteine. 7. Sedimente. 8. Die Gesteine der Kontaktmetamorphose. 9. Die Gesteine der Dynamometamorphose. 10. Die kristallinischen Schiefergesteine, eingeteilt nach Mineralbestand und Struktur. 11. Die Gneiße und Schiefer, eingeteilt nach Mineralbestand und Struktur. 12. Die geologischen Formationen.

Die Tafeln geben 16 Strukturbilder.

Aus der Natur. 1909, Heft 16:

Diese neue Auflage des in der Praxis längst bewährten vortrefflichen Werkes wird sich sicherlich zahlreiche Freunde erwerben. Wir brauchen an dieser Stelle nicht erst die Vorzüge dieser Tabellen, die für die Hand jedes mit petrographischen Dingen Beschäftigten unentbehrlich sind, aufzuzählen . . .

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 01371 9128

Digitized by Google